

Министерство образования Российской Федерации  
Владимирский государственный университет  
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

Методические указания к курсовому проекту

Владимир. 2018

Рецензент

*доктор технических наук, профессор  
Кобзев А.А.*

**Методические** указания к курсовому проекту по дисциплине «Автоматизация технологических процессов» /Владим. гос. ун.–т; Сост.: В.Ф. Коростелев, Бакутов А.В.. Владимир, 2018.

Содержат методические указания к выполнению курсового проекта по автоматизации технологических процессов и производств. Дано описание методики проектирования гидравлического привода с автономным регулятором скорости перемещений. Приведены варианты заданий. Один из разделов указаний посвящен расчёту режимов резания лимитирующей операции металлообработки. Рассмотрен вариант использования гидропривода для наложения давления на кристаллизующийся металл. В Приложении приведен пример расчета и исследования динамики гидропривода.

Предназначены для студентов направления подготовки 15.03.04 дневной и заочной форм обучения.

Табл. 8. Ил. 26. Библиогр.: 8 назв.

УДК 62-85.002.7

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	8
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ОБЪЕКТА	14
4 УКАЗАНИЯ К РАСЧЁТУ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ГИДРОПРИВОД В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ	19
5 РАСЧЕТ ГИДРОЦИЛИНДРА ДЛЯ НАЛОЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ МЕТАЛЛ	31
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ MATLAB	43
УКАЗАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ И СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИБОРОВ	57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	63

## **ВВЕДЕНИЕ**

Содержанием курса "Автоматизация производственных процессов" являются методы и средства, обеспечивающие автоматическое выполнение отдельных производственных процессов, движений рабочих органов станков, цикла станка, работы робототехнического комплекса. После изучения курса студент должен уметь разрабатывать технологический процесс или операцию, рассчитывать основные показатели, характеризующие работу автоматизированного станочного оборудования.

Студент должен также уметь выполнять анализ производственного процесса и на этой основе определять управляемые и управляющие параметры системы, должен иметь навыки синтеза систем автоматического управления дискретными и непрерывными процессами.

Для приобретения умения и навыков разработчиков систем автоматического управления производственными процессами направлено выполнение данного курсового проекта.

## **ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Задание к курсовому проекту заключается в следующем:

1. Рассчитать режимы резания лимитирующей технологической операции металлообработки.
2. Произвести моделирование заданного процесса металлообработки на ЭВМ.

3. Синтезировать систему автоматического управления приводом подачи силового узла гибкой производственной системы для лимитирующей операции.
4. Разработать (вычертить) структурную и функциональную схему АСУ.
5. Разработать (вычертить) сборочный чертеж модульной головки агрегатного станка для лимитирующей операции.

Исходными данными для расчета являются параметры лимитирующей операции и тип системы стабилизации режима металлообработки.

Варианты заданий представлены в табл. 1 и табл. 2.

Исходными данными для расчета являются параметры лимитирующей операции (табл. 1) и параметры привода подачи заданного типа металлообработки (табл. 2).

Таблица 1

Параметры лимитирующей операции

Номер варианта	Тип операции	Масса подвижной части, кг
1	2	3
1	Точение, $l=800, d=200$	400
2	Сверление, $l=250, d=50$	450
3	Фрезерование, $l=400, b=50$	500
4	Шлифование, $l=500, b=55$	550
5	Строгание, $l=450, b=50$	600
6	Точение, $l=650, d=55$	650
7	Сверление, $l=200, d=40$	700
8	Фрезерование, $l=350, b=30$	450
9	Шлифование, $l=400, b=30$	500

Продолжение табл. 1

1	2	3
10	Строгание, $l=500, b=35$	550
11	Фрезерование, $l=700, b=45$	600
12	Шлифование, $l=350, b=50$	650
13	Строгание, $l=200, b=30$	700
14	Точение, $l=800, d=60$	550
15	Сверление, $l=200, d=45$	600
16	Фрезерование, $l=300, b=60$	650

17	Шлифование, $l=400, b=35$	700
18	Шлифование, $l=700, b=50$	450
19	Строгание, $l=350, b=40$	500
20	Фрезерование, $l=550, b=65$	550
21	Шлифование, $l=900, b=45$	600
22	Фрезерование, $l=1000, b=60$	650
23	Строгание, $l=1000, b=35$	700
24	Точение, $l=1200, d=55$	550
25	Точение, $l=250, d=80$	400
26	Сверление, $l=180, d=40$	450
27	Строгание, $l=230, b=45$	500
28	Фрезерование, $l=350, b=35$	550
29	Точение, $l=50, d=10$	400
30	Строгание, $l=20, d=8$	200

Таблица 2

Параметры привода подачи

Номер варианта	Давление в напорной линии, МПа	Коэффициент запаса устойчивости $K_{\text{з}}$	Коэффициент запаса по нагрузке $K_{\text{зн}}$	Коэффициент обратной связи, $K_{\text{ос}}$	Скоростная ошибка $\epsilon_{\text{ск}}$	Жесткость Н/мкм
1	2	3	4	5	6	7
1	0,2	0,5	0,1	0,65	0,2	300
2	2	0,6	0,6	0,7	0,3	400
3	4	0,7	0,7	0,75	0,4	600
4	6	0,8	0,8	0,65	0,5	500
5	8	0,9	0,9	0,9	0,2	800
6	10	1	1	0,8	0,3	700
7	2	1,2	1,2	1	0,4	1000

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
8	5	1,1	0,7	0,65	0,5	900
9	6	1,3	0,8	0,7	0,3	800
10	3	0,7	0,9	0,75	0,4	600
11	0,2	0,8	0,6	0,85	0,5	500
12	4	0,9	0,7	1,2	0,2	800
13	6	0,6	0,8	1,15	0,3	700
14	10	0,7	0,9	1,1	0,4	1000
15	0,2	0,8	1	1,05	0,5	900

16	3	0,9	0,7	1,3	0,2	300
17	2	1	0,8	1,25	0,3	400
18	0,5	0,7	0,9	0,75	0,5	600
19	4	0,8	1	0,65	0,2	500
20	6	0,9	1,2	0,9	0,3	800
21	8	1	1,1	0,8	0,4	700
22	10	1,2	1,3	1	0,5	600
23	4	1,1	0,6	0,65	0,4	500
24	4	1,3	0,7	1,15	0,5	800
25	6	0,7	0,8	1,1	0,2	700
26	10	0,9	0,9	1,05	0,3	1000
27	0,2	0,6	1	1,3	0,2	900
28	6	0,7	1,2	1,25	0,3	300
29	8	0,8	1,1	0,75	0,5	400
30	10	0,7	1,2	0,65	0,2	1000

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

**Объем и содержание курсового проекта.** Курсовой проект выполняется в виде пояснительной записки на 15 - 20 листах А4 формата и графической части в объеме 3 листов А1.

Пояснительная записка к курсовой работе должна давать достаточно полное представление о принципе решения задачи проектирования системы с обоснованием правильности решения задачи. Записка иллюстрируется схемами и программами, выполняемыми с соблюдением всех требований

ЕСКД. Эти схемы и программы входят в общий объём пояснительной записки и нумеруются.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна включать в указанной последовательности следующие разделы: титульный лист, бланк задания, подписанный руководителем и заведующим кафедрой; аннотацию (реферат); содержание (оглавление) с указанием страниц; введение; разделы и подразделы основной части; заключение; список литературы; приложения (при необходимости).

Содержание основных разделов пояснительной записки следующее.

Титульный лист должен соответствовать установленному образцу.

Бланк задания, полностью оформленный, должен содержать отзыв руководителя о курсовом проекте студента и ее оценку.

Аннотация в краткой форме раскрывает содержание пояснительной записки к курсовому проекту.

Содержание включает наименование всех разделов курсового проекта, а также подразделов и пунктов, если они имеют наименование, с указанием номера страниц, на которых размещается начало материала разделов, подразделов, пунктов.

Введение содержит постановку задачи, анализ актуальности и цели проектирования системы. Во введении дается краткий анализ возможных методов решения поставленной задачи, но так, чтобы он не заслонял основного содержания проекта. Указываются литературные источники, по которым делается обзор, позволяющий судить, насколько полно изучена литература. Обзор должен содержать краткую оценку изложенных материалов и принципов проектирования.

Основная часть состоит из следующих разделов.

В первой части производится разработка теоретического вопроса. Во второй - анализ технологического процесса с точки зрения особенностей

построения автоматизированных производств, производится расчет основных технологических параметров. По объему это составляет 10... 15%.

В следующем разделе, дается обоснование выбранного подхода к проектированию, моделирование системы, анализ полученных на модели результатов и выводы по их использованию для исследования и синтеза структуры систем автоматического управления. Производятся оценки статических и динамических характеристик и определение областей устойчивой работы, определяются управляемые и управляющие параметры процесса, устанавливается закон управления и функциональная схема САУ, даются исходные данные для реализации САУ на элементной базе.

Заключение должно содержать качественные и количественные оценки результатов проектирования, точности и достоверности результатов моделирования.

Следует представить краткий вывод по результатам курсового проектирования (примерно на 0,5 страницы), отметить достоинства выбранной структурной схемы АСУ. Если была выбрана не оптимальная структура системы управления, то следует указать причины, обусловившие такое решение, а также нерешенные вопросы, рекомендации по возможному в дальнейшем усовершенствовать систему управления заданного технологического процесса.

Список использованной литературы содержит перечень источников, использованных при выполнении курсового проекта. Указывают только те источники, на которые имеются ссылки в тексте пояснительной записки.

Приложение содержит вспомогательный материал (спецификация к чертежу, листинги результатов моделирования и т.п.).

**Оформление курсового проекта.** Пояснительная записка является основным документом, предъявляемым студентом при защите курсовой работы. Она составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105—68 и



ГОСТ 2.106—68. В ней отражаются этапы работы и результаты, полученные при выполнении работы.

Пояснительная записка к курсовому проекту пишется студентом на одной стороне листа бумаги формата 210 × 297 мм. При этом необходимо оставлять поля: слева - 30 мм, справа - 20 мм, сверху - 20 мм, снизу - 20 мм. Текст может быть написан от руки аккуратно, разборчиво, без помарок, с высотой букв не менее 2,5 мм. Средняя плотность записи —30 строк и при 35 - 40 знаков в каждой строке. Предпочтительно подготовка записки с использованием текстового редактора с последующей распечаткой на принтере. Изложение текста должно быть кратким, четким и вестись от первого лица множественного числа.

Весь текст пояснительной записки делят на разделы. Каждый раздел следует начинать с новой страницы. Разделы в пределах всей пояснительной записки, а также подразделы и пункты имеют порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой в конце, например: 1 - первый раздел; 2 - второй раздел; 2.1 - первый раздел второго подраздела; 2.1.1 - первый пункт первого подраздела второго раздела. Введение и заключение не нумеруются.

В заголовке не допускаются переносы слов. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений то их разделяют точкой. Заголовок подчеркивать нельзя.

В записке необходимо выдержать единые обозначения и размерности для используемых параметров, а характеристик.

Допускаются сокращения слов, терминов, обозначений, только общепринятых в ГОСТ 15133 - 77, 17021 - 75, 17657 - 79, 19480 - 74, 19781 - 74, 20886 - 75, 22348 - 77.

Согласно ЕСКД иллюстрации в пояснительной записке, кроме таблиц, имеют подпись «рис.». Номер рисунка состоит из номера раздела и

порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например: рис. 3.2 (второй рисунок третьего раздела). Иллюстрации снабжаются кратким подрисуночным текстом. Длинные записки переносят в текст в текст пояснительной записки. Рисунок располагают после той страницы, где на него дана первая ссылка.

Иллюстрации и таблицы должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать (без поворота записки или поворачивая по часовой стрелке). Количество иллюстраций должно быть минимальным, но доступным для пояснения излагаемого материала.

Формулы в записке (если их более одной) нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер ставится с правой стороны листа на уровне нижней строки формулы в круглых скобках, например: (3.1)—первая формула третьего раздела. Ссылки на формулу указывают порядковым номером формулы в круглых скобках, например «...в формуле (2.1)».

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой со слога «где» без двоеточия после него в той же последовательности, в какой они даны в формуле с новой строки.

Если уравнение не умещается в одну строчку, оно должно быть перенесено после знаков «=» или «+», «-», «×», «:». При написании формулы и выборе справочных данных необходимо делать ссылку на литературный источник, из которого они заимствованы.

Схемы алгоритмов и программы моделирования следует оформлять в пояснительной записке в соответствии с требованиями ЕСПД [8].

При ссылке в тексте на используемую литературу указывают порядковый номер, выделенный двумя квадратными скобками по списку

источников, например [20]. Литературу следует располагать в списке в порядке появления ссылок в тексте. Источник описывается по следующей форме: фамилия и инициалы автора, полное название книги или статьи, место и год издания, объем (для журнала - название журнала, год издания, номер страницы).

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки на последующих ее страницах или в виде отдельной части, располагая их в порядке появления ссылок в тексте (см. ГОСТ 7.32-81).

**Оформление графической части.** При оформлении структурных, функциональных, принципиальных схем и чертежей необходимо руководствоваться ГОСТами ЕСКД 2.701—68, 2.721-74, 2.743—72, 2.747-68, 2.750-68, 2.751—73. На каждом листе работы в правом нижнем углу должна быть основная надпись по ГОСТ 2.104 — 68. Несоблюдение требований ЕСКД и ЕСПД оформлению иллюстраций говорит об их незнании, что приводит к снижению оценки за курсовой проект.

**Организация защиты работы.** Курсовой проект при окончательном оформлении подписывают студент и руководитель работы. В процессе защиты студент кратко излагает назначение и принцип работы системы автоматического управления и особенности принятых решений при исследовании и проектировании привода. В процессе обсуждения студент должен показать, что он овладел общими методами синтеза механизмов, получил навыки выполнения конкретных расчетов, владеет методами моделирования на ЭВМ, может обосновать целесообразность принятия конкретных решений при проектировании САУ.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ОБЪЕКТА**

Разработка технических объектов различных уровней проработки, выполняемая в виде курсового проекта включает следующие этапы:

1. Область техники, к которой относится разработка. Максимально возможно четкое представление разрабатываемого объекта с описанием ограничений. Кроме широкой области применения следует указать и более конкретную область применения. Например: "Система управления относится к области машиностроения, роботостроения в частности к цикловым системам управления роботизированными технологическими комплексами".

2. Анализ актуальности и целесообразности разработки.

3. Формирование цели и задач разработки.

Разработка технического объекта начинается с информационных исследований уровня техники.

В уровень техники включаются общедоступные сведения (сведения, с которыми любое лицо может ознакомиться само независимо от его работы, жительства и т.п., либо о содержании которых ему может быть сообщено законным путем.) В уровень техники входят:

- опубликованные описания к охраняемым документам (заявки на изобретение);
- российские (советские) и иные издания;
- депонированные рукописи статей, обзоров, монографий и др. материалов;
- отчеты и научно-исследовательские работы и др. конструкторская, технологическая и проектная документация, находящаяся в органах научно-технической информации;
- материалы диссертаций и авторефераты диссертаций, изданные на правах рукописи;
- принятые на конкурс работы;
- визуально воспринимаемые источники (плакаты, проспекты, чертежи и др.);
- экспонаты, помещенные на выставке;
- устные доклады, лекции, выступления;
- сообщение посредством радио, телевидения, кино и т.п.
- сведения о техническом средстве, ставшие известными в результате его использования в производственном процессе, в изготовляемой или эксплуатируемой продукции.

Патентно-информационные исследования отражают современное развитие технологий. Владение этой информацией позволяет выявить альтернативные технические решения, имеющие преимущества экономического, экологического, социального и другого характера.

Вся международная информация о патентах классифицирована. Международное сотрудничество в этой области началось в 1956 г. под эгидой Совета Европы и Всемирной организации интеллектуальной собственности. Оно привело к заключению в 1971 г. Страсбургского соглашения относительно Международной патентной классификации (МПК), которое обеспечило всемирное признание уже применявшейся на практике системы. В настоящее время МПК применяется в 70 странах и охватывает 90% патентных документов, публикуемых в мире.

МПК охватывает все области знаний, объекты которых законодательно подлежат патентной охране. Возможность «сужения» поиска до более высокой степени детализации обеспечивают 8 разделов, 20 подразделов, 118 классов, 624 подкласса и свыше 67000 групп МПК. Раз в пять лет Всемирная организация интеллектуальной собственности (на английском и французском языках) и Российское агентство по патентам и товарным знакам (на русском языке) публикуют десяти томное издание МПК. Каждый из 8 разделов классификации помещен в отдельном томе. Том 9 называется «Введение, перечень разделов, классов, подклассов и основных групп». Том 10 «Введение» содержит описание структуры, объясняет использование индексов, принципы, правила и применение классификации.

Результаты патентно-информационного поиска представляются в виде таблиц.

Таблица 1

Регламент патентного поиска

Объект патентного поиска	Классификация МКИ	Страны для поиска	Общее количество патентов
Вакуумный захватный модуль	B 25 J 15/06, 15/00	СССР, ФРГ	7

Таблица 2

Название	Обозначение	Классификация МКИ	Автор	Краткое описание
1	2	3	4	5
Вакуумный захват	SU 1703453 A1	B 25 J 15/06, 15/00	Е.П.Ожигов	Изобретение относится к машиностроению, в частности к вакуумным захватам. Целью изобретения является повышение надежности работы и расширение технологических возможностей.
Вакуумный захват	SU 1689067 A1	B 25 J 15/06 15/00	А.Н. Дровников, С.В. Дарда	Изобретение относится к робототехнике. Цель - расширение функциональных возможностей вакуумного захвата.
Многопозиционный вакуумный захват	SU 166284 A1	B 25 J 15/06	С.И. Гильденфук, Ю.Д. Жаботинский	Изобретение относится к робототехнике. Цель - расширение функциональных возможностей вакуумных захватов.

Вакуумное захватное устройство	SU 1673436 A1	В 25 J 15/06	В.В. Никифоров, Ю.Н. Юрков	Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в захватных органах манипуляторов. Цель - повышение надежности работы устройства за счет обеспечения точности позиционирования захватываемых изделий.
Вакуумный захват	SU 1684033 A1	В 25 J 15/06	М.А. Свита	Изобретение относится к машиностроению. Цель - расширение функциональных возможностей.
Захватное устройство	SU 1689064 A1	В 25 J 15/06	Р.И. Хутский, К.В. Плюгачев, В.Е. Мозговой, Р.В. Ковичихин	Изобретение относится к машиностроению. Цель - расширение технологических возможностей.
Вакуумное захватное устройство	SU 1815217 A1	В 25 J 5/06 В 65 Н 5/08	С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов	Используется для захвата и транспортировки деталей типа пластин.

Результатом технико-экономического обоснования является формирование цели и задач предстоящей разработки. Цель - это тот технико-экономический результат, который необходимо получить разработчику. Например, повышение быстродействия, точности, надежности, снижение энергозатрат и т. п.



Задачами являются те необходимые мероприятия, которые потребуются провести разработчику для достижения поставленной цели.

**УКАЗАНИЯ К РАСЧЁТУ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ НА ГИДРОПРИВОД  
В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ**

Металлорежущие станки предназначены для обработки металла путем снятия стружки. Они обеспечивают изготовление деталей требуемой формы с заданными точностью размеров и шероховатостью поверхности. Обработка может производиться при помощи одного или нескольких инструментов.

Возможность использования гидропривода в технологических процессах обработки металлов показана на рис.1.

Выпускаемые в настоящее время агрегатные, шлифовальные, фрезерно-центровальные и другие гидрофицированные станки для массового автоматизированного производства имеют, как правило, гидравлический привод с путевым управлением. Это не позволяет встраивать их в ГПС и требует разработки принципиально иных схем построения приводов, которые обеспечивают, во-первых, автоматизацию переналадок циклов движения силовых узлов при смене объектов производства и, во-вторых, максимальную унификацию базовых деталей станков и силовой части приводов в обычном и новом исполнении, предназначенном для ГПС.

Указанная цель может быть реализована при использовании гидроприводов с автономным регулятором скорости в качестве управляющего устройства (ГП с АРС).

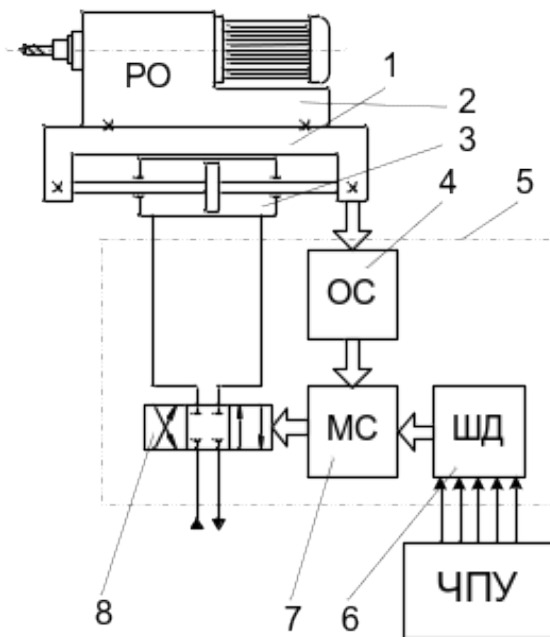


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода с системой программного управления

Силовой стол 1 с установленным на нем рабочим органом (РО) 2 перемещается от гидроцилиндра 3. Скорость и ход устанавливаются автономным задатчиком, выполненным в виде отдельного устройства 5, состоящего из управляющего шагового двигателя (ШД) 6, дросселирующего распределителя 8, механизмов сравнения 7 и обратной связи 4. При работе ГП с АРС сигнал от системы ЧПУ в виде угла поворота ШД поступает в механизм сравнения, который перемещает распределитель в сторону уменьшения рассогласования между заданным положением, определяемым ШД, и фактическим положением РО.

В данном случае полезной является нагрузка, связанная с силой резания, которую необходимо рассчитать по условиям задания с учетом вида обработки [1-11]. В то же время необходимо иметь в виду, что для определения требуемой полезной нагрузки необходимо знать усилие, развиваемое гидроцилиндром, потери этого усилия на трение и на перетекание рабочей жидкости из поршневой полости в штоковую. Кроме

того, в переходных процессах возникает динамическая составляющая действующих сил, которую также необходимо учитывать.

В зависимости от способа обработки существуют станки следующих основных групп: токарные, сверлильные, шлифовальные, фрезерные, строгальные.

Металлорежущий станок, на котором производится процесс резания, является технологическим объектом управления. Основными технологическими процессами металлообработки являются точение, расточка, строгание, сверление, фрезерование и шлифование.

*Точение* (рис.2) осуществляется на токарных станках за счет вращения обрабатываемого изделия 1 (главное движение) и перемещения резца 2 (движение подачи).

Окружная скорость изделия в точке соприкосновения резца с обрабатываемой деталью называется скоростью резания. Скорость резания, м/мин, определяется по формуле

$$v = 9,55\pi d_u \omega_u = 30\pi d_u \omega_u, \quad ()$$

где  $d_u$  — диаметр обработки, м;  $\omega_u$  — угловая скорость изделия, рад/с.

Величина подачи определяется перемещением резца, приходящимся на один оборот изделия. Глубина резания представляет собой разность радиусов обрабатываемой и обработанной поверхностей. Быстрое перемещение суппорта, зажим и отжатие обрабатываемого изделия, перемещение люнета, задней бабки и другие движения относятся к вспомогательным.

В процессе обработки происходит износ инструмента  $h$ , который можно разбить на три периода (рис. 1,б): *I* - приработка, *II* - нормальный и *III*- усиленный износ, заканчивающийся "посадкой" (затуплением) инструмента. Износ  $h_0$ , при котором общий срок службы инструмента получается наибольшим, а расход наименьшим, называют оптимальным. Оптимальный

износ обеспечивает минимальную стоимость инструмента, отнесенную на одну деталь. По достижении оптимального износа  $h_0$  инструмент перетачивают. Время работы инструмента между двумя переточками определяет его стойкость  $T$ .

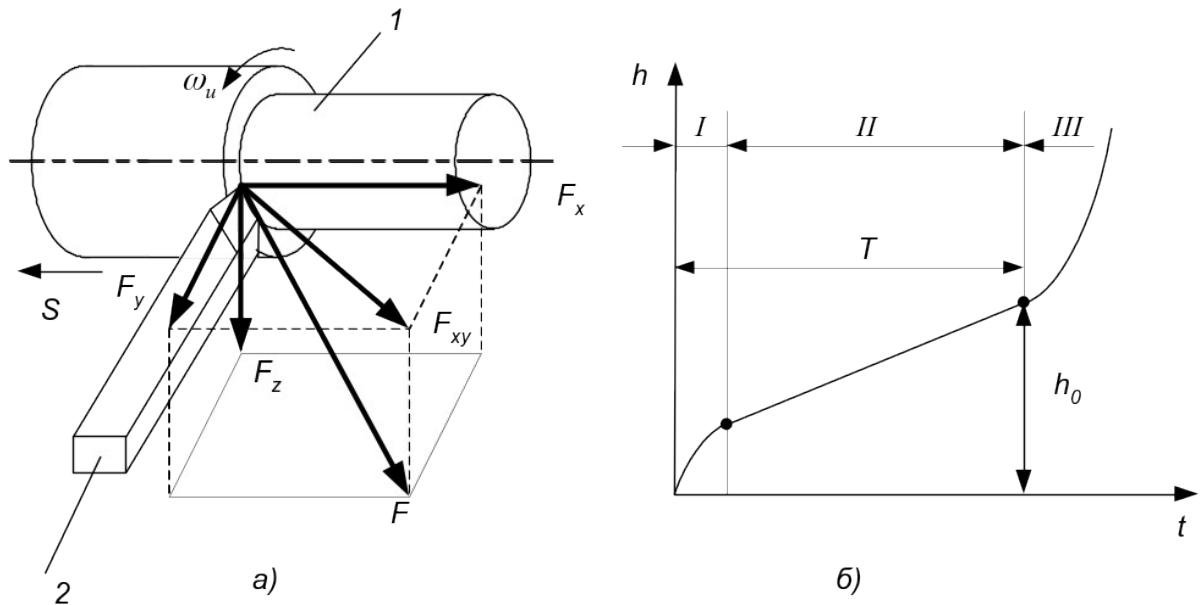


Рис. 2. Схема токарной обработки (а) и график износа инос инструмента (б)

Параметры обработки связаны между собой эмпирической формулой

$$v = \frac{C_v}{T^m t_p^{x_v} s^{y_v}}; \quad ()$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий вид и условия обработки, а также материал изделия и резца;  $s$  — подача, мм/об;  $t_p$  — глубина резания, мм;  $T$  — стойкость, мин;  $x_v$ ,  $y_v$ ,  $m$  — показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого металла, материала резца и вида обработки.

При снятии стружки резцом возникает усилие  $F$ , приложенное к режущей кромке инструмента, которое может быть разложено (рис. 1, а) на три составляющие:

$$F = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2}; \quad ()$$

где  $F_z$  - главная касательная сила, действующая в направлении траектории главного движения, преодолеваемая шпинделем станка и называемая усилием резания;  $F_y$  - радиальная сила, действующая нормально к обработанной поверхности и создающая давление на суппорт;  $P_y$  - осевая сила, действующая в направлении подачи.

Расчет усилия резания производится по эмпирической формуле

$$F_z = C_F t_p^{x_F} s^{y_F} v^n; \quad ()$$

где  $C_F$  коэффициент, характеризующий материал детали, резца и вид токарной обработки;  $x_F$ ,  $y_F$ ,  $n$  показатели степени.

Коэффициенты и показатели степени в (3) и (4) принимаются по справочникам режимов резания [11].

По аналогичным формулам рассчитываются усилия  $F_y$  и  $F_x$ , которые можно принять равными  $F_x \approx 0,4F_z$  и  $F_y \approx 0,3F_z$ .

Усилие  $F_{II}$  действующее на механизм подачи, помимо собственного усилия подачи  $F_x$  содержит также составляющие, возникающие в направляющих за счет сил трения от действия усилий  $F_z$  и  $F_y$ :

$$F_{II} = F_x + \mu(F_z + F_y) \quad ()$$

где  $\mu$  - коэффициент трения в направляющих.

Мощность резания, кВт,

$$P_z = \frac{F_z v}{60} 10^{-3}. \quad ()$$

Мощность подачи, кВт,

$$P_{II} = \frac{F_{II} v_{II}}{60} 10^{-3} = \frac{F_{II} s \omega}{60} 10^{-6}. \quad ()$$

Поскольку скорость подачи во много раз меньше скорости резания, мощность подачи намного меньше мощности резания и составляет относительно последней 1 — 0,1 %.

*Расточка* применяется для черновой, чистовой и алмазной обработок отверстий на токарных и расточных станках. При расточке резцы, оснащенные пластинками из быстрорежущей стали, твердых сплавов или из ограненного технического алмаза, закрепляют в оправках. Скорость, силу и мощность резания при черновой и чистовой расточках определяют по тем же формулам (2) -- (6), что и для точения.

*Строгание* (рис. 3) можно рассматривать как точение участка детали с бесконечно большим диаметром. При этом деталь 1 перемещается возвратно - поступательно относительно резца 2, снятие стружки происходит в течение рабочего хода, а обратный ход совершается вхолостую. Скорость, с которой деталь перемещается относительно резца при рабочем ходе, называется скоростью резания  $V$ , м/мин. Продольное перемещение стола является главным движением.

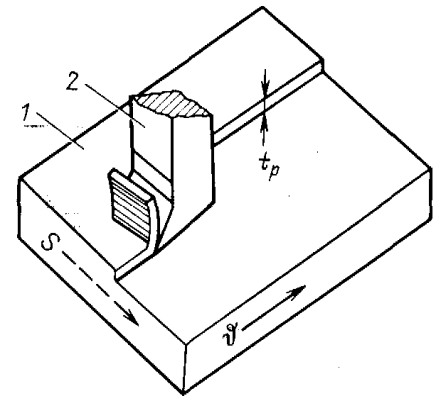


Рис. 3. Схема строгания

Перемещение резца за один двойной ход стола перпендикулярно главному движению называется движением подачи  $x$ , мм/мин. Величина  $r_p$ , на которую углубляется резец в изделие при одном проходе, называется глубиной резания. Перемещение траверсы и суппортов, подъем резца при обратном ходе, установочные медленные перемещения стола относятся к вспомогательным движениям.

Скорость, усилия и мощность резания при строгании определяют по тем же формулам (1) - (3), что и для точения.

*Сверление* (рис. 4) осуществляется за счет вращательного (главного) движения инструмента - сверла 1 (иногда детали) и его продольного перемещения в детали 2 - движения подачи. Продольное и поперечное

перемещения стола, перемещение шпиндельной бабки, зажим колонны являются вспомогательными движениями.

Окружную скорость на периферии сверла  $V$ , м/мин, называют скоростью резания при сверлении. Перемещение сверла вдоль своей оси за один оборот определяет подачу. Скорость резания при сверлении находят по эмпирической формуле

$$v = C_v \frac{d_c^{z_v}}{T^m s^{y_v}}, \quad ()$$

где  $C_v$  -- коэффициент, зависящий от материала детали и сверла;  $d_c$  -- диаметр сверла, мм;  $T$  - стойкость сверла, мин;  $s$  -- подача, мм/об;  $y_v, z_v, m$  -- показатели степени, зависящие от материала детали и диаметра сверла.

Вращающий момент, Нм, при сверлении определяют по эмпирической формуле

$$M = C_M d_c^{1,9} s^{y_M} \cdot 10^{-3}, \quad ()$$

откуда, зная угловую скорость сверла, рассчитывают мощность резания, кВт:

$$P_z = M \omega_z \cdot 10^{-3}, \quad ()$$

Сила, Н, преодолеваемая механизмом подачи при сверлении, также определяется по эмпирической формуле:

$$F_x = C_F d_c^{z_F} s^{y_F}, \quad ()$$



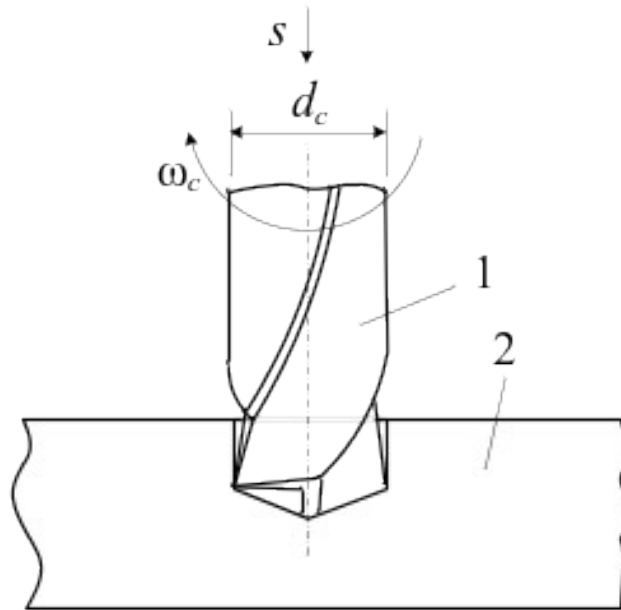


Рис. 4. Схема сверления

Все коэффициенты и показатели степени, входящие в эмпирические формулы, приводятся в справочниках по режимам резания

*Фрезерование* (рис. 5) производится вращающейся фрезой 1, имеющей несколько режущих лезвий — зубьев, каждое из которых за счет поступательного перемещения фрезы относительно детали 2 снимает стружку в пределах определенного угла поворота фрезы, а затем вращается вхолостую. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, перемещение детали относительно инструмента представляет движение подачи. Быстрое перемещение стола, на котором укреплена деталь, и ускоренное перемещение шпиндельной бабки при наладке относятся к вспомогательным движениям.

Под скоростью резания,  $V$ , м/мин, понимают окружную скорость на периферии фрезы, которую определяют по эмпирической формуле

$$v = \frac{C_v d_\phi^q}{T^m S_z^{y_v} t_p^{x_v} B^k Z^n}, \quad ()$$

где  $C_v, q, m, n, x_v, y_v, k$  — коэффициент и показатели степени, зависящие от материала детали и фрезы, вида обработки и охлаждения;  $d_\phi$  -- диаметр фрезы, мм;  $s_z$  -- подача на зуб фрезы, мм;  $B$  — ширина фрезерования, мм;  $z$  -- число зубьев фрезы.

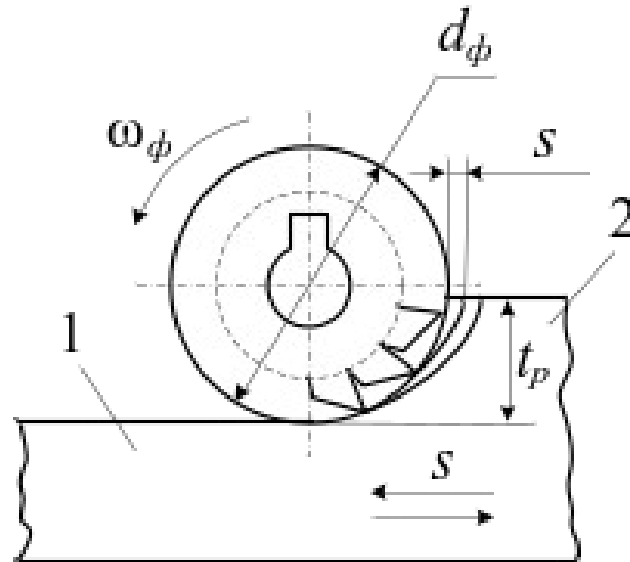


Рис. 5. Схема фрезерования

Усиление резания, Н, определяют по выражению

$$F_z = C F t_p^{x_F} s_z^{y_F} B z d_\phi^i, \quad ()$$

Мощность резания, кВт, рассчитывают по формуле

$$P_z = C_p t_p^{x_p} s_z^{y_p} B z n_\phi d_\phi^q \cdot 10^{-5}, \quad ()$$

где  $n_\phi$  — частота вращения фрезы,  $n_\phi = 30 \omega_\phi / \pi$ .

Все коэффициенты и показатели степени в (12) и (14) приводятся в справочниках по режимам резания.

*Шлифование* (рис. 6) производится, как правило, абразивными кругами, при этом каждое абразивное зерно в зоне обработки работает как резец, снимая стружку с детали в пределах определенного угла поворота. Главное движение при шлифовании — вращение шлифовального круга 1; поступательное перемещение круга относительно детали 2 представляет движение подачи.

Различают плоское шлифование (рис. 6, а, б), при котором обрабатывается плоская поверхность, и круглое шлифование (рис. 6, в, г), при котором обрабатывается поверхность тела вращения. Плоское шлифование может осуществляться периферией (рис. 6, а) или торцом (рис. 6, б) шлифовального круга 1.

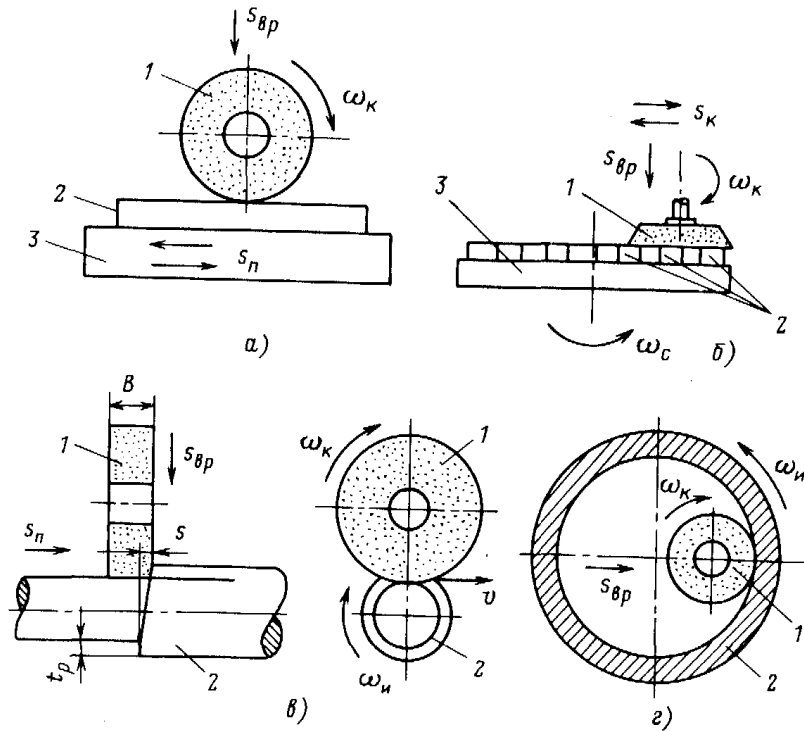


Рис. 6. Схема шлифования на станках

а — плоскошлифовальном с прямоугольным столом; б — плоскошлифовальном с круглым столом; в — круглошлифовальном; г — внутришлифовальном; 1 - шлифовальный круг; 2 - деталь; 3 - стол (магнитная плита)

Стол 3, на котором устанавливается магнитная плита для крепления деталей 2, может иметь прямоугольную и круглую формы. На шлифовальных станках с прямоугольным столом (рис. 6, а) последний совершает возвратно-поступательное движение (продольная подача  $s_n$ ), периодическое дозированное перемещение (поперечная подача  $s_{п,п}$ ) и перемещение на врезание  $s_{вр}$ . На шлифовальных станках с круглым столом (рис. 6, б) одним из движений подачи является вращение деталей с магнитной плитой и столом со скоростью  $\omega_c$ . Другое движение подачи - перемещение  $s_k$  шлифовального

круга в радиальном направлении относительно стола, а также перемещение на врезание  $s_{вр}$ .

Выбор режимов резания при шлифовании определяется по технологическим таблицам, составленным на основании эмпирических данных.

При круглом наружном (рис. 6, в) и внутреннем (рис. 6, г) шлифованиях изделие получает вращение со скоростью  $\omega_n$  как правило, в сторону, противоположную вращению шлифовального круга. Относительное перемещение шлифовального круга вдоль оси вращения детали представляет продольную подачу  $s_{п}$ .

Скорость резания при шлифовании  $v$ , м/с, определяется окружной скоростью шлифовального круга и равна примерно 20—80 м/с. При этом допускаются небольшие глубины шлифования  $t_p$ , равные 0,05—0,005 мм. Все большее применение стало находить силовое шлифование, обеспечивающее значительную глубину шлифования — до 10 мм.

В процессе шлифования абразивные зерна притупляются, что при постоянной подаче влечет за собой увеличение мощности шлифования и образование прижогов на поверхности детали. Для устранения этих явлений круг правят, срезая слой абразива и вводя в работу зерна с новыми режущими кромками. Время работы круга между двумя последовательными правками характеризует его стойкость  $T$ , мин.

При плоском шлифовании периферией круга на станках с прямоугольным столом стойкость может быть рассчитана по формуле

$$T = \frac{C_v}{(s_{п}s_{пп}s_{вр})^2} k_1 k_2, \quad (15)$$

где  $C_v$  — коэффициент, зависящий от скорости резания;  $s_{п}$  — скорость движения стола (продольная подача), м/мин;  $s_{пп}$  — поперечная подача в долях ширины шлифовального круга;  $s_{вр}$  — подача на врезание на ход стола,

мм/ход;  $k_1, k_2$  — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала и диаметра шлифовального круга.

## Расчет гидропривода для наложения давления на кристаллизующийся металл

Одной из серьезных проблем при производстве металлопродукции с более высоким уровнем химических и физико-механических свойств является формирование однородной структуры литых заготовок и изделий в сечениях толщиной 50...100 мм и более.

Установлено, что управление формированием структуры можно осуществлять, накладывая на кристаллизующийся металл давление по закону, согласованному со скоростью кристаллизации [12].

Речь идет о наложении давления на уровне 300...400 МПа с компенсацией усадки в пределах 10...15 % в течение отрезка времени 5...10 с при опрессовке заготовок из сплава В95 массой 2,8 кг. Мощность гидропривода при этом составляет  $N = pQ/612$  кВт. Здесь  $Q$ , л/мин;  $p$ , кгс/см<sup>2</sup>. Это соответствует установленной мощности применяемого гидропривода, если принимать во внимание усредненные величины. В переходных же процессах, как показали выполненные исследования, давление в рабочей полости гидроцилиндра изменяется по сложной зависимости (рис.16).

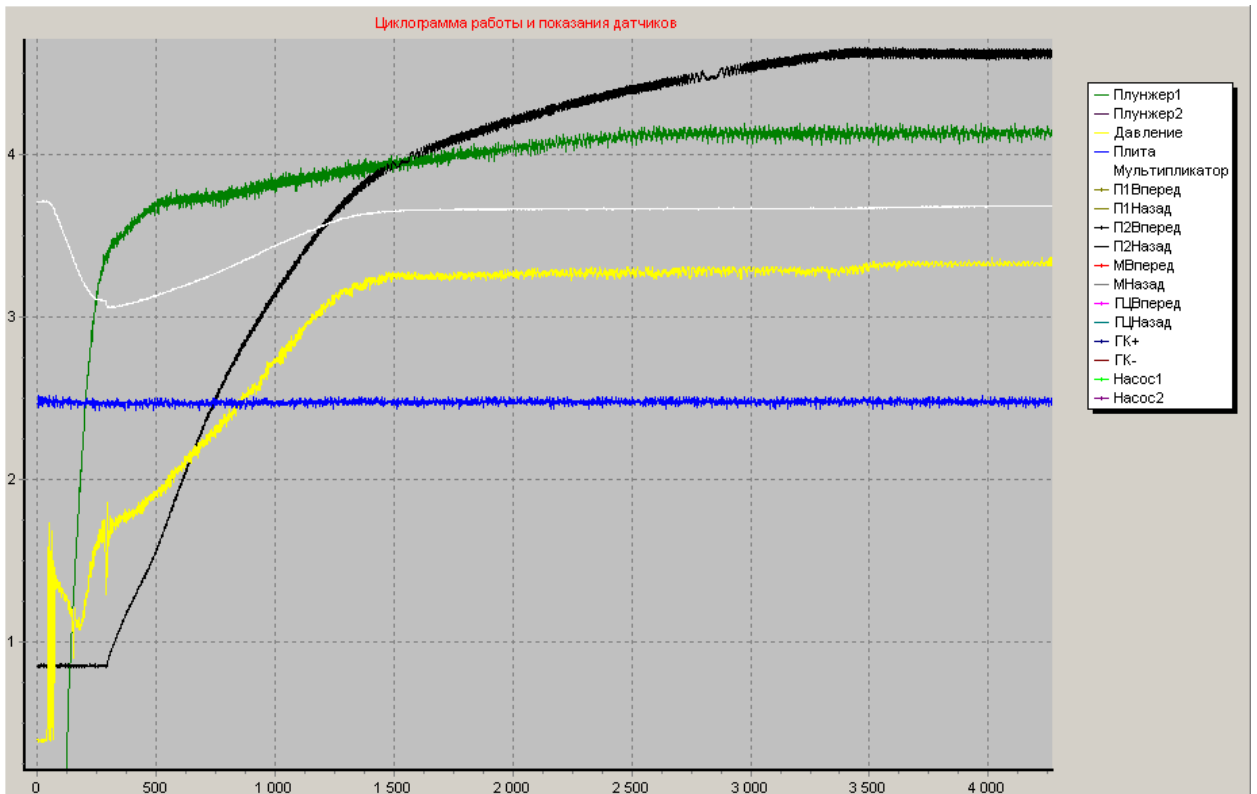


Рис.16. Осциллограммы, иллюстрирующие свойства жидкого металла под давлением как объекта автоматического управления (Желтым цветом показано изменение давления в полости гидроцилиндра от 0 до 10 МПа, зеленым – движение правого, черным – левого гидроцилиндра в пределах от 0 до 125 мм)

В начале процесса, когда включается в работу правый гидроцилиндр, давление в рабочей полости гидроцилиндра нарастает достаточно быстро, но в момент включения левого гидроцилиндра (рис.17) давление падает до 30 МПа. Далее давление нарастает, но не мгновенно, поэтому скорость наложения давления приобретает вполне определенное значение, которое зависит от производительности гидронасоса. Если по ходу технологического процесса возникает необходимость включить параллельно другой гидроцилиндр (2), то давление в гидросистеме, не достигнув номинального значения 10 МПа, снова падает до 20 МПа, и, если требуется подать на

кристаллизующийся металл максимальное усилие пресса, гидросистема в этом режиме не способна адекватно реагировать на управляющее воздействие.

Отсюда следует, что используемая для производства литых заготовок, указанных выше размеров, гидросистема не обладает необходимыми динамическими свойствами.

Возможны следующие варианты решения данной задачи:

- увеличить производительность насоса;
- установить гидроаккумулятор;
- использовать мультипликатор в режиме аккумуляции энергии.

Кроме того, просматриваются и гибридные схемы.

В целях отработки наилучшего решения предлагается разработать математическую модель и соответствующую ей структуру системы управления.

Представленная на рис.17 схема учитывает динамику гидроцилиндра (инерционная нагрузка, сила трения, полезная нагрузка развиваемая сила, расход, сжимаемость масла), гидрораспределителя (устройство управления расходом и перепадом давления в цилиндре) и кинематических цепей (чувствительные и сравнивающие элементы), а также представляет структуру системы управления.

насыщение по расходу и давлению не происходит;

положение рабочего органа соответствует среднему положению поршня в цилиндре;

перетечками в цилиндре и в АРС пренебрегают.



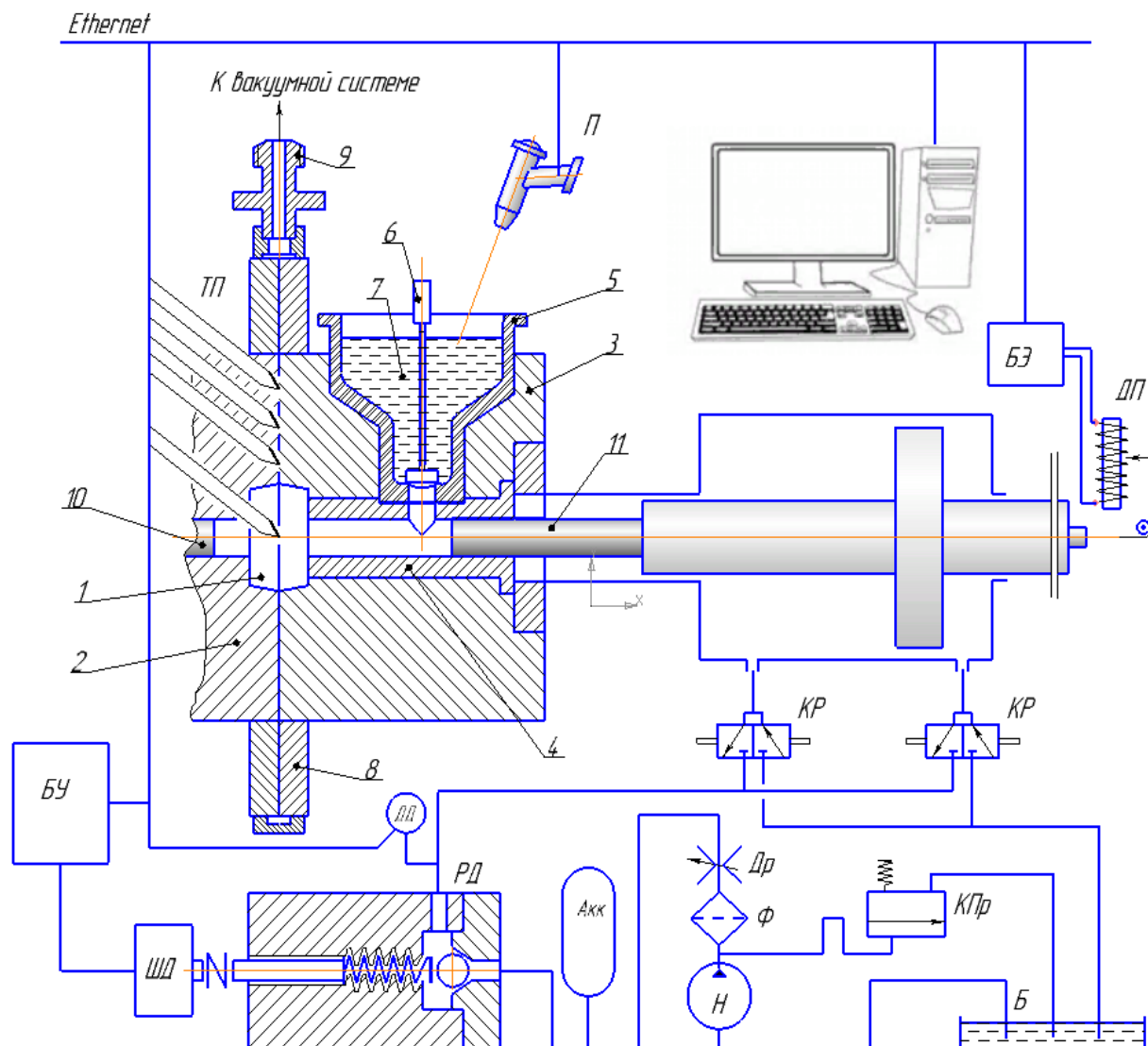


Рис.17. Структурная и гидрокинематическая схема управления процессом наложения давления

Обозначения: 1-заготовка; 2,3- форма; 4-втулка; 5-чаша заливочная; 6-стопор; 7-жидкий металл; 8-кольцо-бандаж формы; 9-штуцер; 10,11-плунжеры прессующие; Акк - аккумулятор; Б - бак; БУ - блок управления; БЭ - блок управления; ДД - датчик давления; ДП - датчик положения поршня; Др - дроссель; КПр - клапан предохранительный; КР - клапан распределительный; РД - регулятор давления; Н - насос; ШД - шаговый двигатель; Ф - фильтр

Математическая модель гидропривода

При составлении уравнения движения привода сделаны следующие допущения:

*функции, описывающие расходные и силовые характеристики элементов привода, непрерывны;*

динамикой задающего электродвигателя пренебрегают;

давление в напорной магистрали постоянно;

давлением слива пренебрегают;

люфты и упругость в передаточных цепях АРС отсутствуют;

В соответствии со 2-м законом Ньютона уравнение движения поршня и штока гидроцилиндра

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = F(p_1 - p_2) - \Sigma T - R, \quad (17)$$

где  $M$  — масса поршня и штока, кг;  $x$  — перемещение поршня, м;  $F$  — площадь поверхности поршня, м<sup>2</sup>;  $p_1, p_2$  — давления в полостях цилиндра, Па;  $\Sigma T$  — суммарная сила трения в направляющих и уплотнениях штока, Н;  $R$  — полезная нагрузка, Н.

Уравнения неразрывности потоков рабочей жидкости с учетом ее сжимаемости в полостях цилиндра имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Fx + p_1 V_1 / E; \\ Q_2 &= Fx + p_2 V_2 / E; \end{aligned} \quad (18)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — расходы рабочей мощности, идущей в полость 1 и сливающейся из полости 2 гидроцилиндра, м<sup>3</sup>;  $V_1 = Fx$  — объем полости гидроцилиндра, м<sup>3</sup>;  $V_2 = F(L - x)$ , где  $L$  — длина хода поршня, м;  $E = 1,5 \cdot 10^9$  Па — модуль упругости рабочей жидкости. Условие замыкания привода обратной связью:

$$Fx + p_1 V_1 / E = \mu y \sqrt{2(p_n - p_1) / \rho}, \quad (19)$$

где  $y$  – смещение шарика регулятора, мм.

Отсюда

$$y = (Fx + p_1 V_1 / E) / \mu \sqrt{2(p_n - p_1) / \rho}$$

На основании выражений (17)-(19) запишем систему уравнений, описывающих движение привода:

$$\begin{aligned} M d^2x/dt^2 &= F(p_1 - p_2) - \Sigma T - R; \\ Q_1 &= Fx + p_1 V_1 / E; \\ Q_2 &= Fx + p_2 V_2 / E; \\ y &= (Fx + p_1 V_1 / E) / \mu \sqrt{2(p_n - p_1) / \rho}. \end{aligned} \quad (20)$$

Расход масла через открытое отверстие регулятора и КР определяется по формулам:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \mu y \sqrt{2(p_n - p_1) / \rho}; \\ Q_2 &= \gamma b \sqrt{2p_2 / \rho}. \end{aligned} \quad (21)$$

где  $\mu$  - переменный коэффициент расхода;  $y$ —ширина щели открытого отверстия регулятора, м;  $p_n$  — давление в напорной линии,  $p_n = 10$  МПа;  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup> — плотность рабочей жидкости,  $\gamma$  - постоянный коэффициент расхода клапана распределительного (КР),  $b$  - ширина щели КР.

Движение привода при установившейся скорости описывается алгебраическими уравнениями, полученными из формул (6), (7) в результате приравнивания к нулю соответствующих производных (значения величин при установившейся скорости — с индексом «ноль»):

$$F(p_{10} - p_{20}) = \Sigma T_0 - R_0;$$

$$\begin{aligned}
 Q_{10} &= \mu_0 y_0 \sqrt{2(p_n - p_{10})/\rho}; \\
 Q_{20} &= \gamma b \sqrt{2p_{20}/\rho}; \\
 y &= (Fx + p_1 V_1/E)/\mu \sqrt{2(p_n - p_1)/\rho}.
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Для анализа динамических характеристик привода, в том числе для определения областей устойчивой работы, необходимо провести линеаризацию уравнений (20), (21). Смысл ее заключается в представлении нелинейных функций в виде линейных в окрестностях заданной точки [в нашем случае в окрестностях точки, характеризующей установившееся движение привода по формуле (22)].

Линеаризуя уравнения (22) для расхода рабочей жидкости, обозначив  $Q_{10} = Q_{20} = \mu b y_0 \sqrt{\frac{p_i}{\rho}} = Q_0$  и введя коэффициент

$$K_y = 0,5 \cdot 10^{-4} \sqrt{p_n}$$

получим:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_0 + K_y \Delta y; \\
 Q_2 &= Q_0 + K_y \Delta y.
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

где  $K_y$  — коэффициент усиления регулятора, характеризующий возрастание расхода при увеличении рабочего зазора.

Подставив уравнение (18) в систему уравнений (22) и проведя линеаризацию для других переменных, получим:

$$\begin{aligned}
 M (d^2 x_0 + \Delta x)/dt^2 &= F(p_{10} + \Delta p_1 - p_{20} - \Delta p_2) - \lambda d(x_0 + \Delta x)/dt - R_0 - \Delta R; \\
 d(p_{10} + \Delta p_1)dt &= E/V [Q_0 + K_y \Delta y - K_p \Delta p_1 - Fd(x_0 + \Delta x)/dt]; \\
 d(p_{20} + \Delta p_1)dt &= E/V [Fd(x_0 + \Delta x)/dt - Q_0 - K_y \Delta y + K_p \Delta p_2] - Fd(x_0 + \Delta x)/dt; \\
 Q_1 &= Q_0 + K_y \Delta y - K_p \Delta p_1;
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

$$Q_2 = Q_0 + K_y \Delta y - K_p \Delta p_2 ;$$

$$\Delta y = (Fx + \Delta p_1 V_1 / E) / \mu \sqrt{2(p_n - \Delta p_1) / \rho}.$$

Здесь  $\lambda = \Sigma T / dt / dx$  - коэффициент вязкого трения в направляющих и уплотнениях штока (для станочных гидроприводов можно принять  $\lambda = 1,5 \cdot 10^4 \text{ кг/с}$ ).

Обозначим перепад давления в полостях гидроцилиндра через  $\Delta p$ , вычтем из второго третье уравнение системы (10), получим:

$$M (d^2 \Delta x) / dt^2 = F \Delta p - \Sigma T - \Delta R ;$$

$$d(p_{10} + \Delta p_1) dt = E / V [K_y \Delta y - F d(\Delta x) / dt] ;$$

$$\Delta Q_1 = Q_0 + K_y \Delta y ;$$

$$\Delta y = (Fx + \Delta p_1 V_1 / E) / \mu \sqrt{2(p_n - \Delta p_1) / \rho}.$$
(24)

*Составление структурной схемы и определение областей устойчивости управления ГП с АРС*

Структурная схема привода, соответствующая системе уравнений (24), показана на рис. 18. Схема позволяет наглядно показать взаимосвязь элементов привода с помощью следующих передаточных функций.

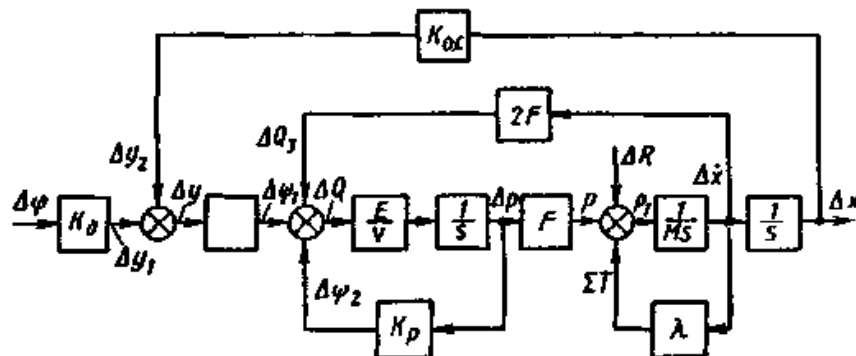


Рис. 18. Структурная схема ГП с АРС

Угол поворота ШД преобразуется в смещение золотника:

$$W_1(s) = \frac{\Delta y_1(s)}{\Delta \varphi(s)} = K_{\bar{A}}.$$

Смещение золотника из нейтрального положения приводит к увеличению объема масла, поступающего в полость гидроцилиндра и вытесняемого из нее.

$$W_2(s) = \frac{\Delta Q_1(s)}{\Delta y(s)} = 2K_y.$$

Часть этого объема идет на сжатие масла:

$$W_3(s) = \frac{\Delta p(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{E}{V(s)}.$$

а возникший перепад давления, воздействуя на площадь поршня  $F$ , создает силу  $P$ , которая затрачивается на преодоление сил инерции движущихся масс:

$$W_5(s) = \frac{\Delta x(s)}{P_1(s)} = \frac{1}{Ms^2};$$

трения в направляющих и уплотнениях штока:

$$W_6(s) = \frac{\sum T(s)}{\Delta x(s)} = K_{oc};$$

и полезной нагрузки  $R$ .

Расход масла, затрачиваемый на перемещение ( $x$ ) штока, характеризуется звеном

$$W_7(s) = \frac{\Delta Q_3(s)}{\Delta x(s)} = 2F,$$

а жесткая отрицательная обратная связь между штоком исполнительного цилиндра и золотником гидроусилителя — звеном

$$W_8(s) = \frac{\Delta y_2(s)}{\Delta x(s)} = K_{oc}.$$

После преобразования структурной схемы по правилам, известным из теории автоматического управления, получаем передаточную функцию разомкнутой системы

$$W_p(s) = \frac{x(s)}{y(s)} = \frac{K}{s(T^2s^2 + 2T\xi s + 1)}, \quad (25)$$

где  $K$  - коэффициент усиления;  $T$  - постоянная времени;  $\xi$  - коэффициент демпфирования, эти коэффициенты связаны с параметрами привода из уравнений (11) следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{2FK_y K_{oc}}{K_p \lambda + 2F^2}; \\ T &= \sqrt{\frac{MV}{E(K_p \lambda + 2F^2)}}; \\ \xi &= \frac{V\lambda + K_p EM}{2\sqrt{EMV(K_p \lambda + 2F^2)}}. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

Передаточная функция замкнутой системы, охваченной обратной связью с учетом (27):

$$W_3(s) = \frac{x(s)}{\varphi(s)} = \frac{\frac{KK_d}{K_{oc}}}{T^2s^2 + 2T\xi s^2 + s + K}. \quad (27)$$

Для анализа устойчивости ЛЭПП с АЗП применяем алгебраический критерий Рауса—Гурвица для знаменателя выражения (29), откуда находим

$$\Delta_r = T(2\xi - TK) > 0. \quad (28)$$

Подставив в формулу (15) выражения для  $K$ ,  $T$  и  $\xi$  из выражения (28) и пренебрегая величиной  $K_p \lambda$  по сравнению с  $2F^2$ , получим следующий критерий устойчивости для линейных приводов:

$$FL\lambda + 2K_p EM - K_y K_{oc} ML > 0. \quad (29)$$

В полученное неравенство входят три слагаемых, зависящих от динамических коэффициентов  $\lambda$ ,  $K_p$  и  $K_y$  линеаризованных характеристик трения рабочего органа и расхода гидрораспределителя, а также от ряда

конструктивных параметров  $F$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $K_{oc}$  привода, причем первые два слагаемых повышают, а третье — снижает устойчивость.

Таким образом, неравенство (29) определяет область возможных соотношений основных параметров привода, обеспечивающих отсутствие автоколебаний, и будет использовано в дальнейшем при разработке методики расчета ГП с АРС.

На основании приведенных выше зависимостей разработана инженерная методика расчета привода.

Исходными данными для расчета являются: масса рабочего органа ( $M$ ), длина хода ( $L$ ), требования к точности позиционирования ( $\varepsilon$ ), диапазону скоростей ( $v_{\min}$  -  $v_{\max}$ ), тяговой силе ( $R$ ), жесткости ( $J$ ), скоростной ошибке ( $\varepsilon_{ск}$ ).

Цель расчета — выбор площади  $F$  поршня гидроцилиндра и подведенного давления.

Расчет состоит из нескольких этапов.

Задаваясь несколькими значениями давления в напорной линии (например,  $p_n$  равно 0,2; 4; 6; 8; 10 МПа) определяем требуемую площадь гидроцилиндра по следующим четырем критериям.

$$\begin{aligned}
 F > F_1 &= 10^{-2} K_{zy} M [3,34 K_{oc} \sqrt{p_n} - \frac{1,31}{L \sqrt{p_n}}]; \\
 F > F_2 &= 10 K_{zn} \frac{R}{p_n}; \\
 F > F_3 &= 0,4 \frac{J}{p_n K_{oc}}; \\
 F < F_4 &= 0,62 \cdot 10^5 \varepsilon_{ск} K_{oc} \frac{\sqrt{p_n}}{\dot{x}_0}.
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

$$F < F_4 = 0,62 * 10^5 \varepsilon_{ск} K_{oc} \sqrt{p_n} / dx/dt.$$

1 - уравнение требование устойчивости согласно формуле,  $K_{zy}$  - коэффициент запаса по устойчивости, 2 - требование по полезной нагрузке



согласно выражению  $K_{zn}$  - коэффициент запаса по нагрузке, 3 - уравнение требование по жесткости, 4 - требование по скоростной ошибке.

Здесь где  $F$  - в  $\text{см}^2$ ,  $M$  - в кг,  $L$  - в м,  $p_n$  - в МПа,  $dx/dt$  - в мм/мин,  $R$  - в кН,  $\varepsilon_{ск}$  - в мм,  $J$  - в Н/мкм.

По результатам расчета в координатах  $p_n$  —  $F$  строим пересечение областей.

Далее проверяем качество переходного процесса спроектированного привода. Если привод окажется излишне задемпфированным (время переходного процесса  $T > 0,1$  с, перерегулирование  $\approx 1$ ), необходимо увеличить давление или уменьшить площадь в пределах их допустимых значений, если же привод окажется излишне колебательным ( $T < 0,05$  с, перерегулирование  $> 1,3$ ), необходимо уменьшить давление или увеличить площадь.

Если пересечения областей в соответствии с выражениями не существует, необходимо пересмотреть требования к жесткости и скоростной ошибке (уменьшить их).

Для справки: коэффициент вязкого трения  $\lambda = 1,5 \cdot 10^4$  кг/с, объем полости гидроцилиндра  $V = \frac{FL}{2}$ , модуль упругости рабочей жидкости  $E = 1,5 \cdot 10^9$  Па, передаточное отношение АЗП  $k_d \approx 1$  мм/об,  $K_y = 0,5 \cdot 10^{-4} \sqrt{p_n}$

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГДРАВЛИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА В МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ МАТЛАВ

Моделирование можно рассматривать как замещение исследуемого объекта (оригинала) его условным образом, описанием или другим объектом, именуемым моделью и обеспечивающим адекватное с оригиналом поведение в рамках некоторых допущений и приемлемых погрешностей. Моделирование обычно выполняется с целью познания свойств оригинала, путем исследования его модели, а не самого объекта. Разумеется,

моделирование оправдано в том случае, когда оно проще создания самого оригинала или когда последний по каким-то причинам лучше вообще не создавать.

Математическое моделирование - это область науки и техники, которая обеспечивает выявление закономерностей протекания различных явлений окружающего нас мира или работы систем и устройств путем их математического описания и моделирования без проведения натурных испытаний. При этом используются фундаментальные положения и законы математики, описывающие моделируемые явления, системы или устройства на некотором уровне их идеализации.

Таким образом, математическая модель системы или устройства это или иное математическое описание их, обеспечивающее имитацию работы систем или устройств на уровне, достаточно близком к реальному поведению их, получаемому при натурных испытаниях систем или устройств.

MATLAB, будучи мощной матричной системой, открывает обширные возможности в выполнении численного моделирования как линейных, так и нелинейных систем и устройств, описываемых большими системами уравнений. Такое моделирование предполагает решение системы уравнений состояния достаточно апробированными и хорошо известными численными методами - в том числе на основе рекуррентных и итерационных алгоритмов. Уравнения состояния реальных систем и устройств часто содержат множество нулевых коэффициентов, что порождает разреженные матрицы и массивы. Их аппарат прекрасно представлен в базовой системе MATLAB.

Система MATLAB, включая пакет Simulink, образуют мощное средство для проектирования систем автоматического управления (САУ). В теории проектирования САУ важное место уделяется моделированию, анализу и синтезу линейных систем с постоянными параметрами. Для этих целей в системе MATLAB используют пакет Control System Toolbox [13],

кроме того, пакет Simulink содержит большой набор средств, который позволяет создавать и анализировать объекты и системы самого различного назначения.

При реализации пакета Control System Toolbox использованы принципы объектно-ориентированного программирования. Введен новый класс объектов: линейные системы с постоянными параметрами (linear time invariant objects, или lti-объекты). Этот класс включает линейные непрерывные или дискретные, одномерные с одним входом и одним выходом (SISO-системы) и многомерные со многими входами и (или) многими выходами (MIMO-системы). Каждому объекту присваивается определенный идентификатор.

Функции пакета реализуют методы исследования динамических систем, основанные на использовании передаточных функций и моделей для переменных состояния. Частотные и временные характеристики, нули и полюсы систем легко вычисляются и отображаются в виде графиков и диаграмм.

Рабочая среда MATLAB содержит следующие элементы:

- меню;
- панель инструментов;
- окно Workspace, из которого можно получить доступ к содержимому рабочей среды;
- окно Command History, предназначенное для просмотра и повторного вызова ранее введенных команд;
- командное меню Command Window;
- окно Current Folder – браузер файловой системы

Командное меню Command Window – основной элемент среды, позволяющий оперативно решить большинство предложенных в курсе примеров и задач.

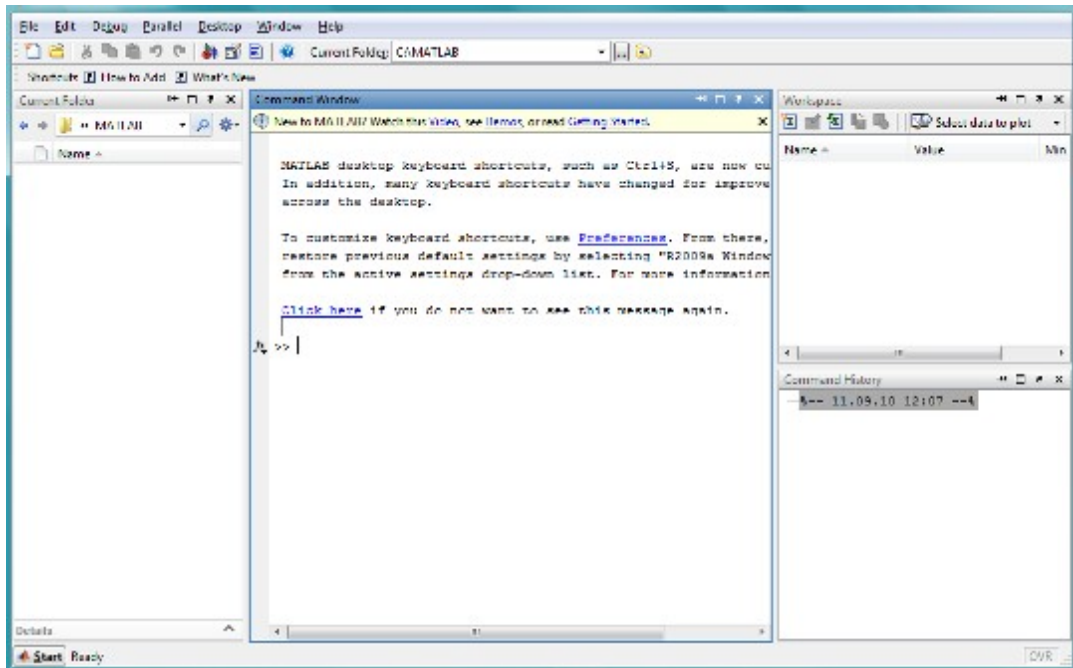



Рис. 19. Интерактивная среда моделирования Simulink

Пакет Simulink служит для моделирования различных систем и устройств. Для построения функциональной схемы моделируемых устройств Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок-схем. Последний основан на использовании возможностей графического интерфейса пользователя и по существу является типичным средством визуального программирования. Используя палитры компонентов (наборы) блок-схем, пользователь с помощью мышки переносит нужные компоненты с палитр на рабочий стол пакета Simulink и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, готовится блок-схема моделирования нужной системы или устройства. Simulink является достаточно самостоятельным инструментом MATLAB и при работе с ним совсем не требуется знать сам MATLAB и остальные его приложения. С другой стороны доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам остается открытым и их можно использовать в Simulink. Часть входящих в

состав пакетов имеет инструменты, встраиваемые в Simulink (например, LTI-Viewer приложения Control System Toolbox – пакета для разработки систем управления). Запуск Simulink производится из основного окна MATLAB путем нажатия кнопки  на панели инструментов

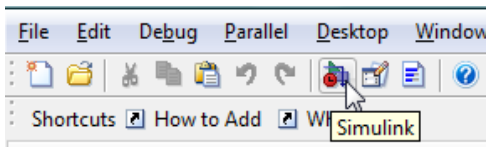


Рис. 20. Запуск Simulink

В левой половине окна браузера приведен перечень библиотек, включенных в состав Simulink, а в правой – перечень разделов соответствующей библиотеки либо изображения блоков соответствующего раздела.

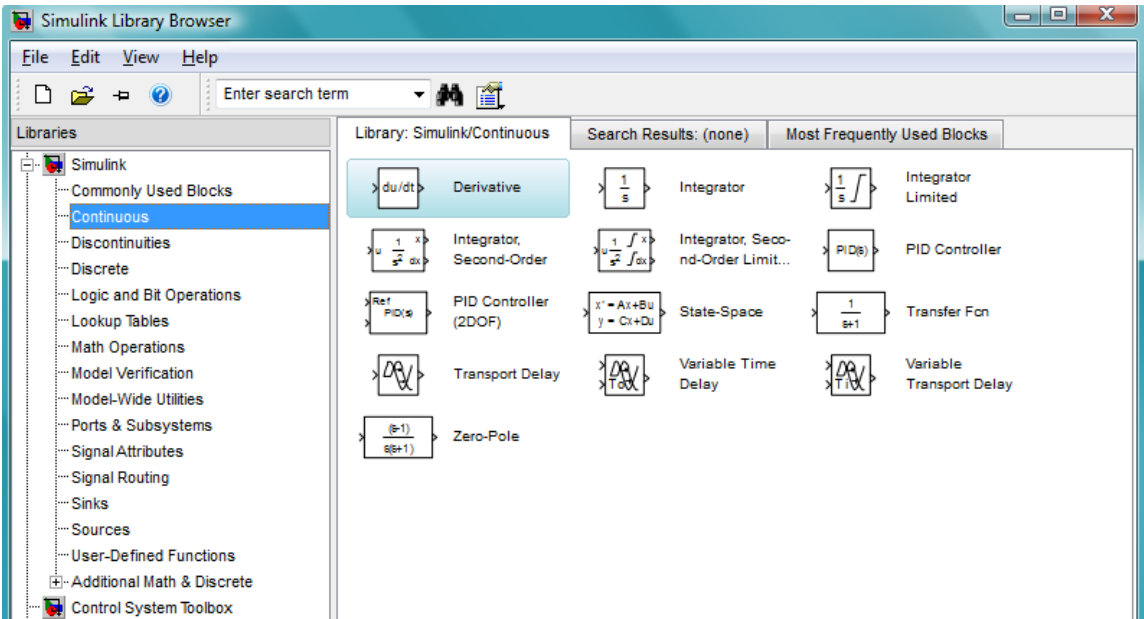


Рис. 21. Браузер библиотек Simulink

Библиотека Simulink содержит следующие основные разделы:

1. Sinks (приемники) – блоки позволяют визуализировать получаемые при моделировании результаты и проконтролировать правильность работы того или иного блока и системы в целом.
2. Sources (источники) – блоки предназначены для формирования сигналов, которые при моделировании обеспечивают работу S-модели в целом или ее частей.
3. Continuous (непрерывные элементы) – содержит блоки, которые реализуют динамические звенья, описываемые линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.
4. Discrete (дискретные элементы) – содержит блоки, с помощью которых в модели может быть описано поведение дискретных систем.
5. Math Operations (математические операции) – содержит блоки, которые реализуют некоторые встроенные математические функции системы MATLAB.

#### Основные блоки раздела Continuous (непрерывные элементы)

1. Integrator – представляет идеальное интегрирующее звено.
2. Derivative – представляет идеальное дифференцирующее звено.
3. State-Space – позволяет задать линейное звено путем ввода четырех матриц его пространства состояний.
4. Transfer Fcn – позволяет задать линейное звено путем ввода его передаточной функции.
5. Zero-Pole – используется для того, чтобы задать звено посредством указания векторов значений его полюсов и нулей, а также значения коэффициента передачи.
6. Transport Delay – обеспечивает задержку сигнала на заданное количество шагов модельного времени.

Чтобы начать сборку блок-схемы моделируемой системы, необходимо вызвать команду File  $\diamond$  New  $\diamond$  Model.

Сборка блок-схемы S-модели заключается в том, что графические изображения выбранных блоков с помощью мыши перетягиваются из окна раздела библиотеки в окно блок-схемы, а затем выходы одних блоков соединяются с входами других.

Блок-схема моделируемой системы должна включать в себя один или несколько блоков-источников, генерирующих сигналы, которые вызывают «движение» моделируемой системы, и блоки приемников, которые позволяют получить информацию о выходных сигналах этой системы.

Аналогичным образом студенту предлагается самостоятельно оценить частотные свойства системы, воспользовавшись операторами MatLAB `nyquist(w)` и `bode(w)`. Первый оператор строит частотный годограф Найквиста разомкнутой системы, а второй диаграммы Боде (логарифмическую амплитудно – частотную характеристику и логарифмическую фазо – частотную характеристику). По полученным частотным характеристикам необходимо оценить запас устойчивости ЛЭПП по амплитуде и фазе.

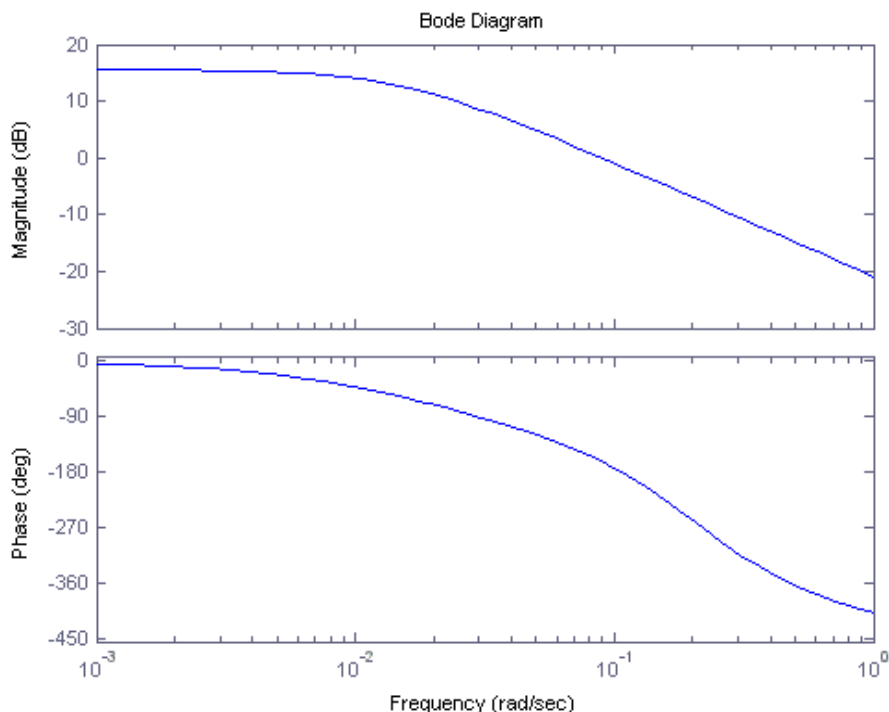


Рис.22. ЛАЧХ и ЛФЧХ

Построим частотный годограф Найквиста (амплитудно-фазовую характеристику) с нанесенной на него координатной сеткой:

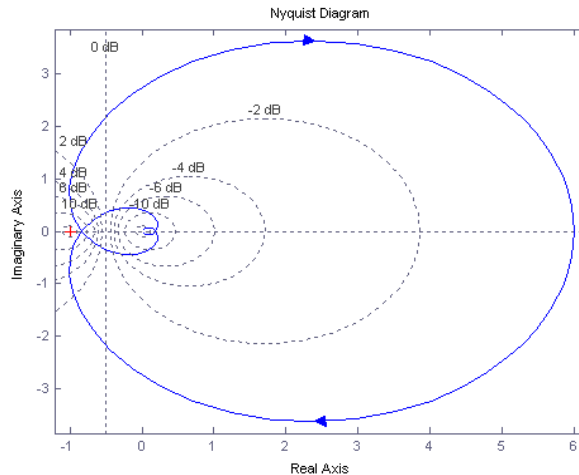


Рис. 23. Амплитудно-фазовая характеристика

Провести анализ устойчивости системы

Определение коэффициентов функции

CurveExpert – программный комплекс, позволяющий быстро находить показатели кривых на графиках. Приложение показывает максимальную зависимость точек. Широкая визуализация помогает наглядно разобраться в постановке системы XY. Удобная вставка позволяет отображать кривые на доступных устройствах. Предусмотрены режимы двухмерной системы и опция 3D. Параметрические значения координат устанавливает пользователь, в зависимости от задачи. Возможно сопровождение инфографики пояснительным текстом.

При начале работы с программой необходимо ввести координаты точек, согласно требуемому закону изменения давления. Затем необходимо перейти во вкладку «Tools» и нажать «CurveFinder», необходимо отметить все элементы в этом меню и нажать кнопку «ОК».



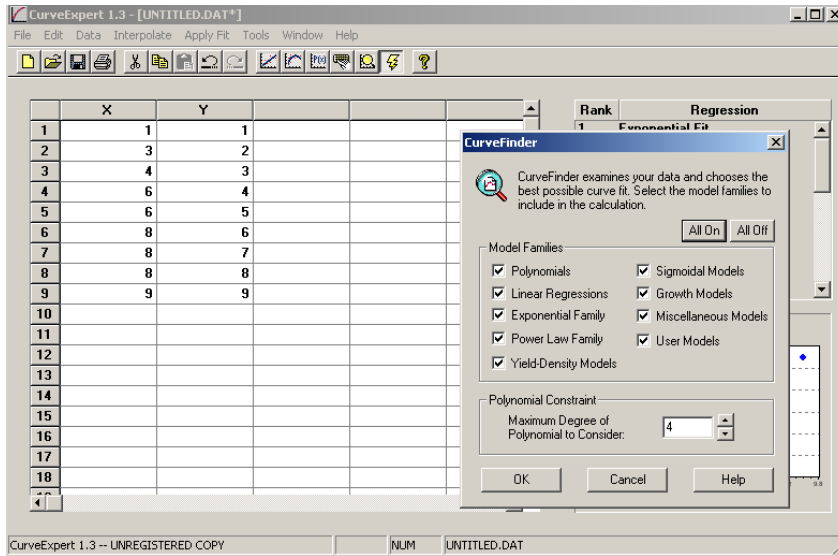


Рис. 24. Интерфейс программы

После появления результатов вычисления, необходимо выбрать функцию, максимально соответствующую введенным данным. Для этого необходимо определить значение « $r$ », которое должно быть максимально

близко к единице.

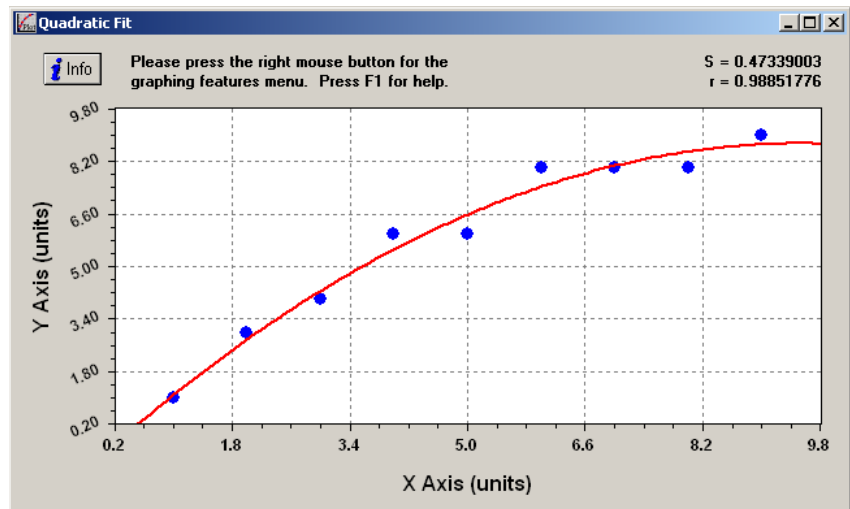


Рис. 15. Определение функции входящего сигнала

При нажатии кнопки «INFO» будет определена функция

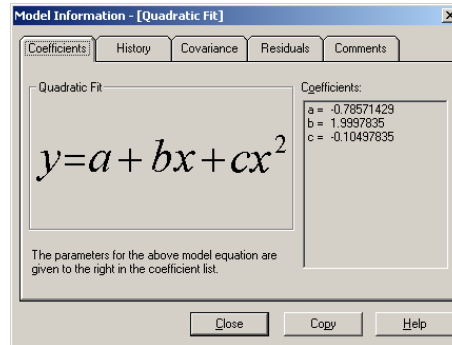


Рис. 26. Определение коэффициентов функции

Для расчета и анализа системы автоматического управления ее передаточная функция должна быть представлена в MatLAB в виде ЛВИ(LTI) – модели (ЛВИ - Линейная Время-Инвариантная). MatLAB обеспечивает возможность построения 4 видов моделей: TF(ПФ - передаточной функции), ZPK(НПК - нули-полюса-коэффициент), SS(ПС-пространство состояния) и FRD(ЗЧО - значения частотного отклика). В данном примере применяются TF- модель.

Для автоматизации расчета площади цилиндра по четырем критериям можно воспользоваться средой программирования системы MatLAB.

Удобным инструментом выбора некоторой из альтернатив будущих вычислений является функция **menu** MatLAB, которая создает текущее окно меню пользователя. Функция **menu** имеет следующий формат обращения:

```
k = menu ('Заголовок меню', 'Альтернатива 1',
'Альтернатива 2', ... , 'Альтернатива n')
```

Такое обращение приводит к появлению на экране меню. Выполнение программы временно приостанавливается, и система ожидает выбора одной из кнопок с альтернативами. После правильного ответа выходному параметру k присваивается значение выбранной альтернативы.

Теперь, в зависимости от значения этого параметра, можно построить процесс разветвления вычислений. Примерный вид меню для расчета ГП с АРС представлен на рис. 27, а текст scrit-файла на рис. 28.

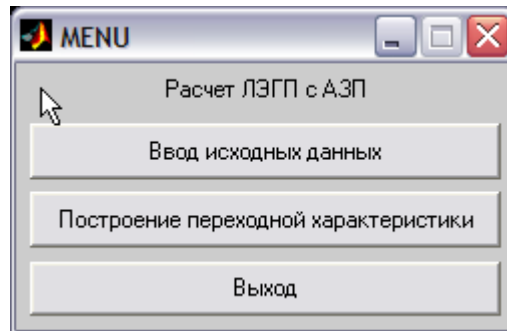


Рис. 27. Вид меню для расчета ГП

 A screenshot of a script editor window. The title bar includes a toolbar with icons for file operations and a stack indicator showing "База". The script content is as follows:
 

```

1 - flag=menu('Расчет ЛЭГП с АЗП','Ввод исходных данных',
2 -         'Построение переходной характеристики','Выход');
3 - if flag==1,
4 -     while flag==1
5 -         LEGP_1
6 -         LEGP_2
7 -         LEGP_3
8 -         flag=menu('Расчет ЛЭГП с АЗП','Ввод исходных данных',
9 -                 'Построение переходной характеристики','Выход');
10 -    end
11 - end
  
```

Рис. 28. Текст scrit-файла

Данный скрипт в зависимости от значения переменной flag (1,2, или 3) передает управление файлу legr\_1 (Ввод исходных данных), legr\_2 (Построение переходной характеристики) или legr\_3 (Выход).

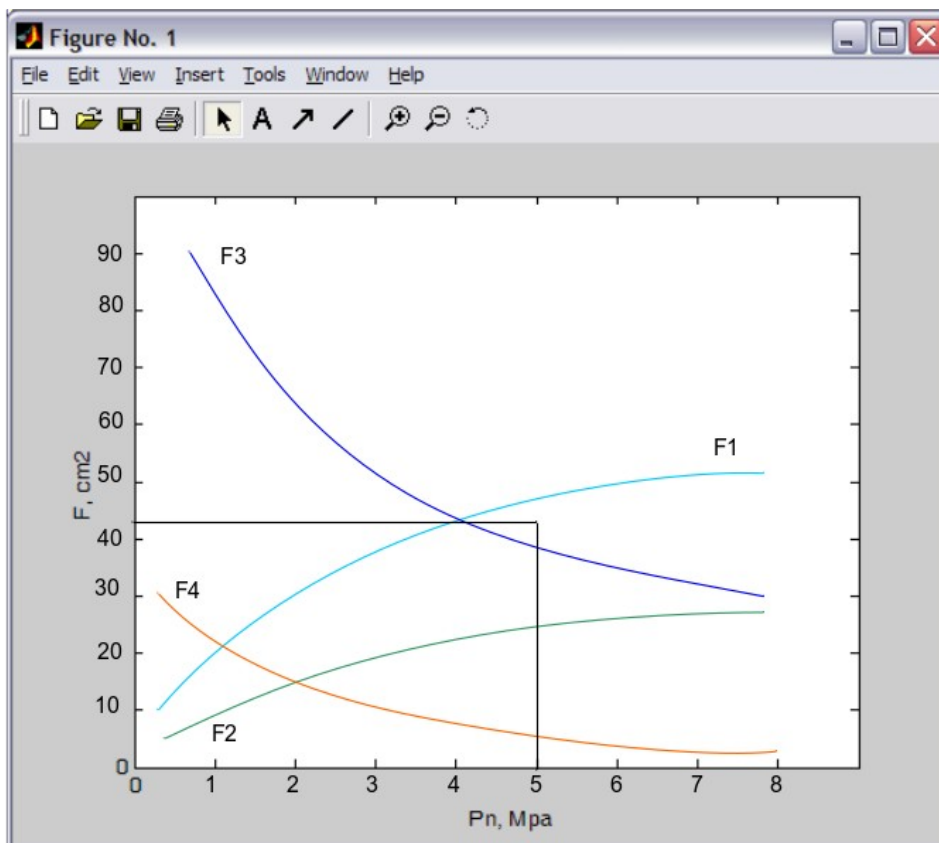


Рис. 29. Окно построения графиков

М-Файл `legp_1` запрашивает ввод исходных данных и осуществляет построение графиков (рис. 3) по четырем критериям устойчивости. Надписи на графике дополнительно редактируются средствами окна рисунка. Область устойчивой работы привода находится в границах  $F < F_1$ ,  $F > F_2$ ,  $F > F_3$ ,  $F > F_4$ . Листинг этого файла представлен на рис. 30.

```

1 - clear
2 - pn=0.2 : 1 : 10
3 - lamda=1.5e4
4 - E=1.5e9
5 - kd=1
6 - M=input([sprintf('Масса подвижной части M=%g', M) 'M='])
7 - p=input([sprintf('Давление в напорной линии p=%g', p) 'p='])
8 - kzu=input([sprintf('Кoeffициент запаса устойчивости kzu=%g', kzu) 'kzu='])
9 - kzn=input([sprintf('Кoeffициент запаса по нагрузке kzn=%g', kzn) 'kzn='])
10 - kos=input([sprintf('Кoeffициент обратной связи kos=%g', kos) 'kos='])
11 - epsilon=input([sprintf('Скоростная ошибка epsilon=%g', epsilon) 'epsilon='])
12 - L=input([sprintf('Ход=%g', L) 'L='])
13 - J=input([sprintf('Жесткость=%g', J) 'J='])
14 - F1=10e-2*kzu*M*(3.34*kos*sqrt(pn)-1.31./(L*sqrt(pn)))
15 - F2=10*kzn*R./pn
16 - F3=0.4*J./(pn*kos)
17 - F4=0.62*10^5*epsilon*kos*sqrt(pn)
18 - plot(F1,pn,F2,pn,F3,pn,F4,pn)
19 - F=input([sprintf('Диаметр цилиндра=%g', F) 'F='])
20 - LEGR

```

Рис. 30. Листинг М-Файл legr\_1.

М-файл legr\_2 по выбранному значению  $F=45 \text{ см}^2$  строит график переходного процесса (рис. 31). Примерный текст файла приведен на рис. 14.

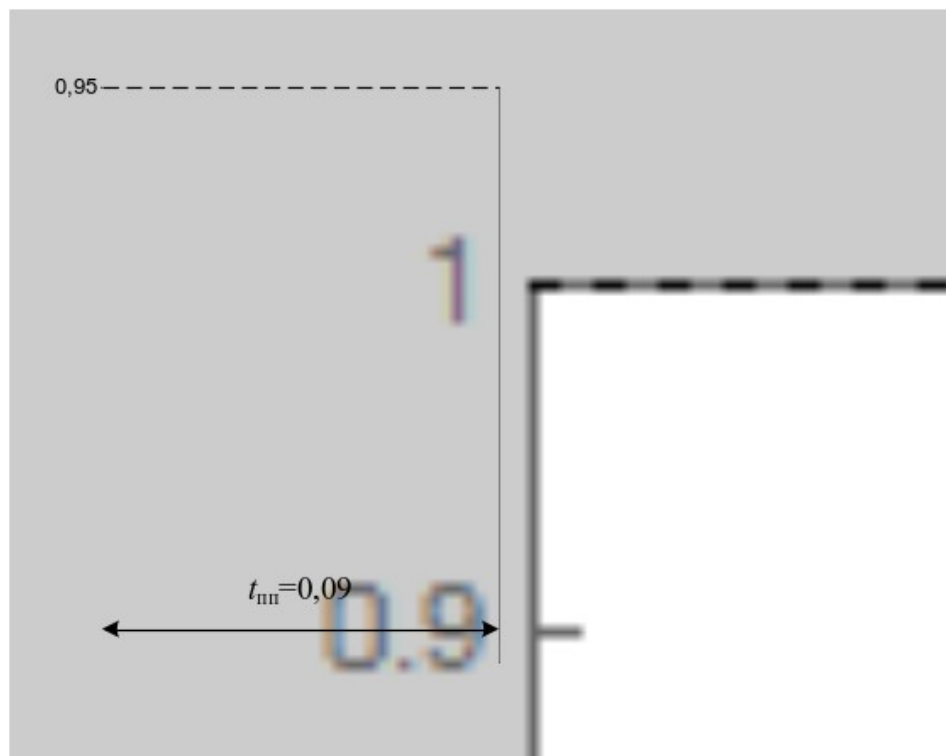


Рис. 31. График переходного процесса

Время переходного процесса - это время, за которое управляемая величина начинает отличаться от установившегося значения менее, чем на заранее заданное значение  $\delta$ , где  $\delta$  - точность управления. В рассматриваемом примере время переходного процесса  $t_{\text{пп}}=0,09$  с., что удовлетворяет заданному качеству переходного процесса.

```

1 - ku=0.5e-4*sqrt(p);
2 - kp=0.7e-8/sqrt(p);
3 - V=F*L/2;
4 - K=2*F*ku*kos/(kp*lamda+2*F^2);
5 - T=sqrt(M*V/(E*(kp*lamda+2*F^2)));
6 - dz=(V*lamda+kp*E*M)/(2*sqrt(E*M*V*(kp*lamda+2*F^2)));
7 - Q=[K*kd/kos];
8 - A=[T^2+2*T*dz 1 K];
9 - w=tf(Q,A)
10 - step(w)

```

Рис.32. Листинг М-Файл legp\_2.

Построение переходного процесса осуществляется командой MatLAB **step(w)**, где **w** заданная передаточная функция исследуемой системы.

Аналогичным образом студенту предлагается самостоятельно оценить частотные свойства системы, воспользовавшись операторами MatLAB **nyquist(w)** и **bode(w)**. Первый оператор строит частотный годограф Найквиста разомкнутой системы, а второй диаграммы Боде (логарифмическую амплитудно – частотную характеристику и логарифмическую фазо – частотную характеристику). По полученным частотным характеристикам необходимо оценить запас устойчивости ЛЭПП по амплитуде и фазе.

## УКАЗАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ И СХЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИБОРОВ

### 1. Назначение Функциональных схем и схем назначения приборов.

На этапе проектирования САУ, АСУ, приборов и средств автоматизации для подготовки и согласования тех или иных технических решений необходимо представить работу оборудования, ход технологического процесса или функционирование сложной системы во всем многообразии возможных ситуаций, взаимодействий составных частей и исполнительных элементов. Речь идет о практической реализации системного проектирования, который позволяет выявить источники информации, распределение информации во времени и в пространстве. Прежде чем приступить к автоматизации управления информацией необходимо создать промежуточный документ, который можно использовать как отправной (базовый) для последующей разработки проекта. В качестве такого документа может быть Функциональная схема и схема расположения приборов (ФС и СРП).

ФС и СРП дают схематическое представление об объекте управления и характере его работы. Основное внимание на ФС уделяется наличию и расположению тех или иных датчиков технологических параметров или параметров, характеризующих состояние той или иной системы. Кроме того на ФС указывают подачу воды, сжатого воздуха, электрической энергии и т. д., что позволяет выявить принципы действия, оценить технико – экономические, экологические и др. показатели.

### 2. Пример разработки ФС и СРП

На рис.33 приведен пример автоматизации трехфазной электродуговой печи.

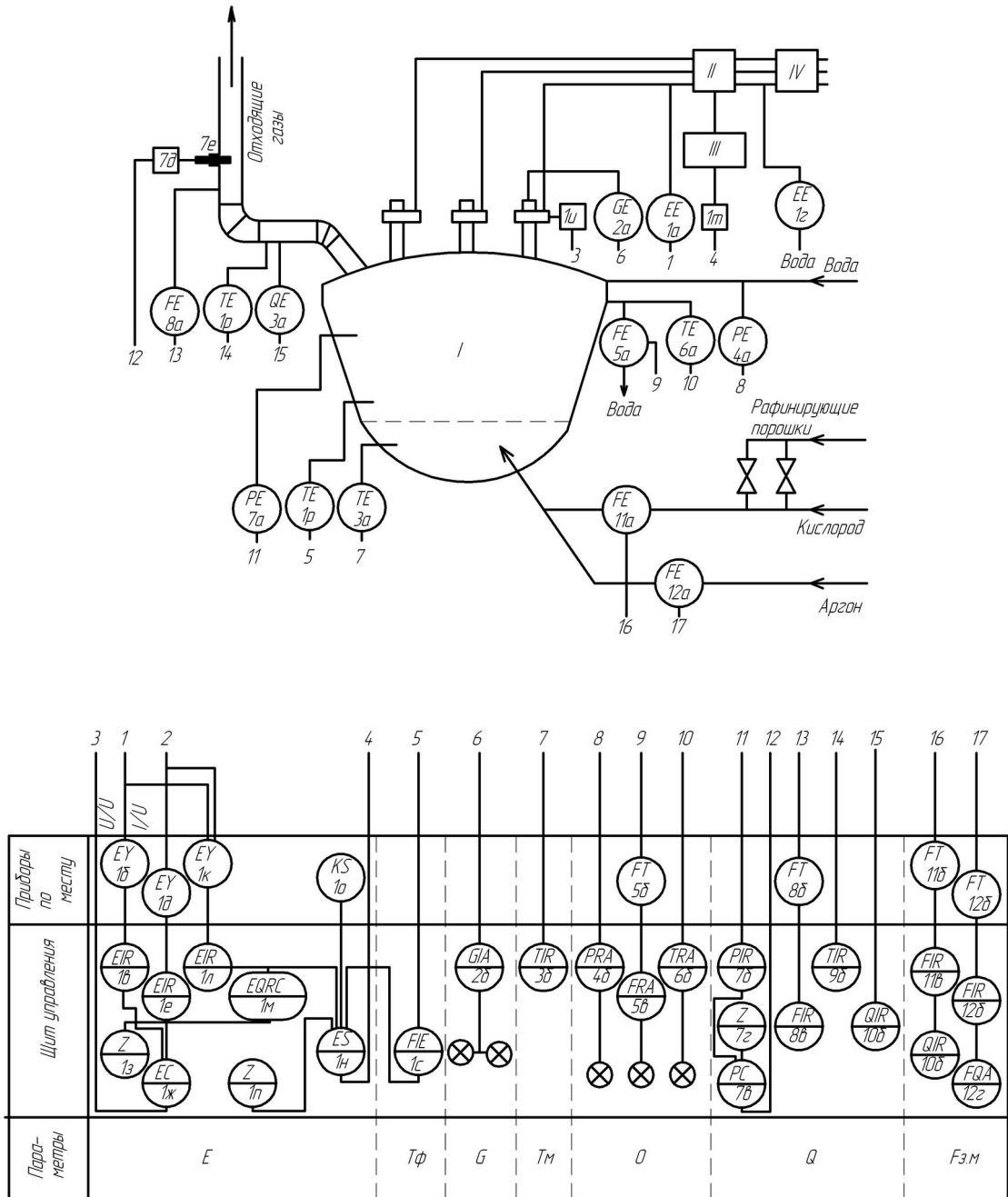


Рис. 33. Автоматизация дуговой печи: а – функциональная схема автоматизации; б – схема расположения приборов.

I-IV комплекс агрегатов; 1-17 линии подключения приборов приведённых на рис. б, в схему на рис. а; E – параметры электрического режима (токи, напряжения, мощность, количество израсходованной энергии); T<sub>ф</sub> – температура футеровки; G – положение электродов; T<sub>м</sub> – температура металла; O – параметры системы водяного охлаждения (температура, расход и давление воды; Q – состав отходящих газов; F<sub>р.м.</sub> – расход рафинирующих материалов.



Печь представлена в виде контура, характеризующего форму рабочего пространства для выплавки металла (поз. I). Поз. II – трансформатор, III – счетчик, IV – подстанция. Сверху подведены три графитовых электрода, между которыми гори дуга – источник энергии для нагрева металла. Корпус печи охлаждается водой, по ходу плавки в печи загружают шихту, ферросплавы, рафинирующие порошки, подают кислород или аргон; отходящие газы и печи удаляют с помощью дымососов.

Для автоматизации управления работой печи необходимо иметь достоверную информацию о функционировании отдельных подсистем.

На ФС видно, что цифрой 1 обозначен прибор для измерения напряжения фазы (1а) (см. табл. 3), цифрой 2 обозначен прибор – трансформатор тока для измерения тока фазы (1г) и т.д.

На СРП сверху на одной линии показаны те же позиции 1,2,...,17, а ниже их полное условное обозначение (см. табл. 4, табл. 5) и расположения соответственно:

- прибор по месту;
- щит управления;

Внизу приведено обозначение измеряемого параметра.

### 3. Указания по использованию ФС и СРП

Как уже отмечалось выше, ФС и СРП отражает этап в разработке проекта создания системы. Дальнейшая работа над проектом может продолжаться по следующим правилам:

- выбор приборов по их входным и выходным характеристикам (см. Приложение 1);
- формирование структуры системы управления;
- составление маршрутов прохождения информации;
- разработка Управляющих Вычислительных Комплексов;

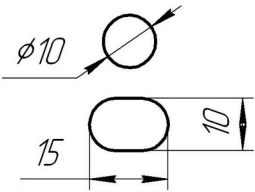

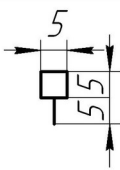
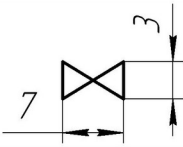


- разработка структурной организации Управляющих Вычислительных Машин;
- разработка архитектуры АСУ;
- разработка локальных САР, САУ;
- анализ работы и оптимизация параметров.

Таблица 3.

## Характеристики средств автоматического контроля

Контролируемый параметр	Применяемые приборы	Позиции на рис. 7.5
Напряжение фазы *1	Трансформатор напряжения	1а
	Нормирующий преобразователь Е825/1	1б
Ток фазы *1	Вторичный прибор	1в
	Трансформатор тока	1г
Активная мощность фазы *1	Нормирующий преобразователь Е824	1д
	Вторичный прибор	1е
Количество израсходованной электроэнергии	Нормирующий преобразователь Е829	1к
	Вторичный прибор	1л
Температура футеровки *1	Счетчик	1м
	Термопара или шампольный термозонд *2 [76]	1р
Положение электрода	Электронный потенциометр	1с
	Датчик положения, например типа ПФФ-3	2а
Температура металла	Вторичный прибор	2б
	Датчик	3а
Химический состав металла и шлака *3	Вторичный прибор	3б
	Квантометр (в экспресс-лаборатории цеха)	—
Параметры охлаждающей воды на выходе из охлаждающей арматуры печи	Манометр	4а
	Вторичный прибор	4б
давление расход	Диафрагма	5а
	Дифманометр	5б
температура	Вторичный прибор	5в
	Датчик	6а
Давление газов в рабочем пространстве печи	Вторичный прибор	6б
	Манометр	7а
Параметры отходящих газов	Вторичный прибор	7б
	расход	Труба Вентури
температура	Дифманометр	8б
	Вторичный прибор	8в
химический состав	Термопара	9а
	Электронный потенциометр	9б
Расход кислорода в ванну	Оптика-акустический газоанализатор (комплект на CO/CO <sub>2</sub> )	
	датчики	10а
	вторичные приборы	10б
	Диафрагма	11а
	Дифманометр	11б
	Вторичный прибор	11в
Счетчики количества (интегратор расхода)	11г	

Условное обозначение приборов

<i>наименование</i>	<i>обозначения, размеры</i>
<p><i>Первичный измерительный преобразователь (датчик), прибор (контролирующий, регулирующий):</i></p> <p><i>базовое обозначения</i></p> <p><i>допускаемое обозначение</i></p>	
<p><i>Прибор, устанавливаемый на щите</i></p>	
<p><i>Исполнительный механизм: общее обозначение (положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется)</i></p>	
<p><i>Регулирующий орган</i></p>	
<p><i>Линия связи</i></p>	
<p><i>Пересечение линий связи</i></p> <p><i>без соединений друг с другом</i></p> <p><i>с соединением между собой</i></p>	

Буквенное обозначение приборов

Буква	Место (порядковый номер) буквы в обозначении				
	1	2	3	4	5
	Значение буквы				
	Измеряемая величина		Функция, выполняемая прибором		
	Наименование	Характер измерения	Характер отображения информации	Способ формирования выходного сигнала	Дополнительные данные
A	_____	_____	Сигнализация	_____	_____
B	Резервная буква	_____	_____	_____	_____
C	_____	_____	_____	Регулирование, управление	_____
D	Плотность	Определение разности, перепада	_____	_____	_____
E	Любая электрическая величина	_____	_____	_____	Чувствительный элемент
F	Расход	Определение соотношения, доли, дроби	_____	_____	_____
G	Размер, положение, перемещение	_____	_____	_____	_____
H	Ручное воздействие	_____	_____	_____	Верхний предел измеряемой величины
I	_____	_____	Показания	_____	_____
J	_____	Автоматическое переключение, объединение	_____	_____	_____
K	Время	_____	_____	_____	Станция управления
L	Уровень	_____	_____	_____	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	_____	_____	_____	_____
O	Резервные буквы	_____	_____	_____	_____
N	_____	_____	_____	_____	_____
P	Давление, вакуум	_____	_____	_____	_____
Q	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	_____	_____	_____
R	Радиоактивность	_____	Регистрация	_____	_____
S	Скорость, частота	_____	_____	Включение, отключение, переключение, сигнализация	_____
T	Температура	_____	_____	_____	Дистанционная передача
U	Несколько однородных измеряемых величин	_____	_____	_____	_____
V	Вязкость	_____	_____	_____	_____
W	Масса	_____	_____	_____	_____
Y	_____	_____	Преобразование вычисления	_____	_____

Давление, вакуум Примечание: Дополнительные буквенные обозначения на линиях передачи сигнала: В<sub>1</sub> - ввод информации в ЭВМ, В<sub>2</sub> - вывод информации с ЭВМ

## ЛИТЕРАТУРА

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безъязычный, В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В. Безъязычный. - М.: Машиностроение, 2013. - 568 с.
2. Бурцев, В.М. Технология машиностроения. В 2-х т.Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В.М. Бурцев. - М.: МГТУ им. Баумана, 2011. - 478 с.
3. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. - М.: Альянс, 2015. - 256 с.
4. Горохов, В.А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов. В 2-х т. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: Учебник / В.А. Горохов. - Ст. Оскол: ТНТ, 2012. - 1072 с.
5. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2012. - 280 с.
6. Кулыгин, В.Л. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для студентов вузов / В.Л. Кулыгин, И.А. Кулыгина. - М.: БАСТЕТ, 2011. - 168 с.
7. Лебедев, Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / Л.В. Лебедев, А.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе.. - Ст. Оскол: ТНТ, 2012. - 424 с.
8. Некрасов, С.С. Практикум и курсовое проектирование по технологии сельскохоз. машиностроения / С.С. Некрасов. - М.: Мир, 2004. - 240 с.
9. Никифоров, А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. / А.Д. Никифоров. - М.: Высшая школа, 2006. - 392 с.
10. Папенова, К.В. Основы технологии машиностроения (для бакалавров) / К.В. Папенова. - М.: КноРус, 2013. - 288 с.

11. Филонов, И.П. Инновации в технологии машиностроения: Учебное пособие / И.П. Филонов, И.Л. Баршай. - Минск: Вышэйшая школа, 2009. - 110 с.

12 Коростелев В.Ф. Теория, технология и автоматизация литья с наложением давления: / моногр. / В.Ф.Коростелев.- М.: «Новые технологии», 2004. – 224с. – ISBN 5-946-940-16-3.

13. - ?